

## Method for the optical isolation of a laser-beam source and optical isolator, in particular for carrying out the method

**Publication number:** DE4425358

**Publication date:** 1995-02-09

**Inventor:** PALME MARTIN DR (DE); KIESLING HARALD (DE)

**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)

**Classification:**

- **international:** **G02B5/18; G02B27/44; G02B5/18; G02B27/42;** (IPC1-7): G02B5/18; G02B27/44; H01S3/08

- **european:** G02B5/18E; G02B27/44

**Application number:** DE19944425358 19940718

**Priority number(s):** DE19944425358 19940718; DE19934326195 19930804

[Report a data error here](#)

### Abstract of **DE4425358**

The invention relates to a method for the optical isolation of a laser-beam source and an optical isolator, in particular for carrying out this method. The inventive method is distinguished by the fact that, as a result of diffraction, the laser beam is subjected to a beam division and energy division and that, after the diffraction, the energy level of an interference beam retroreflected in the direction of the laser-beam source is lower than the energy level of the laser beam. For the incident laser beam, the diffractive optical element(s) exhibit(s) in the direction of the useful beam a higher diffraction effectiveness (efficiency) than for the beam which returns in the direction of the diffractive optical element after a reflection. Optical isolators preferably have a plurality of diffraction gratings in transmission or reflection.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 25 358 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 5/18**  
G 02 B 27/44  
H 01 S 3/08

⑳ Aktenzeichen: P 44 25 358.3  
㉔ Anmeldetag: 18. 7. 94  
㉕ Offenlegungstag: 9. 2. 95

**DE 44 25 358 A 1**

③① Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
04.08.93 DE 43 26 195.7

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal  
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,  
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;  
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,  
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;  
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,

Dipl.-Chem. Dipl.-Biol.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,  
80538 München

⑦② Erfinder:  
Palme, Martin, Dr., 07743 Jena, DE; Kiesling, Harald,  
07927 Hirschberg, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur optischen Isolation einer Laserstrahlquelle und optischer Isolator, insbesondere zur  
Durchführung des Verfahrens

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Isolation  
einer Laserstrahlquelle sowie einen optischen Isolator, ins-  
besondere zur Durchführung dieses Verfahrens. Das erfin-  
dungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß der  
Laserstrahl durch Diffraktion einer Strahl- und Energieteil-  
lung unterworfen wird und im Anschluß an die Diffraktion  
das Energieniveau eines in Richtung der Laserstrahlquelle  
rückreflektierten Störstrahles geringer ist als das Energieniv-  
veau des Laserstrahles. Für den einfallenden Laserstrahl  
weisen das oder die diffraktiven optischen Elemente in  
Nutzstrahlrichtung eine höhere Beugungseffektivität auf als  
für den in Richtung auf das diffraktive optische Element  
nach einer Reflexion zurücklaufenden Strahl. Optische Isola-  
toren weisen vorzugsweise eine Mehrzahl von Beugungsgit-  
tern in Transmission oder Reflexion auf.

**DE 44 25 358 A 1**



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 25 358 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 5/18**  
G 02 B 27/44  
H 01 S 3/08

②① Aktenzeichen: P 44 25 358.3  
②② Anmeldetag: 18. 7. 94  
②③ Offenlegungstag: 9. 2. 95

DE 44 25 358 A 1

③⑩ Innere Priorität: ③② ③③ ③①  
04.08.93 DE 43 26 195.7

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal  
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,  
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;  
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,  
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,  
Dipl.-Ing.Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;  
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,

Dipl.-Chem. Dipl.-Biol.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,  
80538 München

⑦② Erfinder:  
Palme, Martin, Dr., 07743 Jena, DE; Kiesling, Harald,  
07927 Hirschberg, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur optischen Isolation einer Laserstrahlquelle und optischer Isolator, insbesondere zur  
Durchführung des Verfahrens

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Isolation  
einer Laserstrahlquelle sowie einen optischen Isolator, ins-  
besondere zur Durchführung dieses Verfahrens. Das erfin-  
dungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß der  
Laserstrahl durch Diffraktion einer Strahl- und Energietel-  
lung unterworfen wird und im Anschluß an die Diffraktion  
das Energieniveau eines in Richtung der Laserstrahlquelle  
rückreflektierten Störstrahles geringer ist als das Energieni-  
veau des Laserstrahles. Für den einfallenden Laserstrahl  
weisen das oder die diffraktiven optischen Elemente in  
Nutzstrahlrichtung eine höhere Beugungseffektivität auf als  
für den in Richtung auf das diffraktive optische Element  
nach einer Reflexion zurücklaufenden Strahl. Optische Isola-  
toren weisen vorzugsweise eine Mehrzahl von Beugungsgit-  
tern in Transmission oder Reflexion auf.

DE 44 25 358 A 1



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Isolation einer Laserstrahlquelle gegen Rückreflexionen eines von der Laserstrahlquelle emittierten Laserstrahles sowie einen optischen Isolator, insbesondere zur

5 Durchführung des vorgenannten Verfahrens.

In der Lasertechnik werden optische Isolatoren dazu verwendet, die Wirkung möglicher objektseitiger Rückreflexionen des emittierten Laserstrahles auf den Laser zu verhindern, um so Schwankungen in der Betriebsweise oder einer Zerstörung des Resonators des Lasers zu vermeiden. Die nutzbare Lichtintensität kann im ungünstigsten Fall mit 100% in Richtung der Laserstrahlquelle zurückgekoppelt werden.

10 Die Rückkopplungsdämpfung  $D_R$  ergibt sich zu

$$D_R = -10 \log \left( \frac{I_R}{I_N} \right) \quad (1)$$

15

wobei  $I_N$  die nutzbare Intensität des Laserstrahles und  $I_R$  eine als Störung am Laser wirksame, zurückgekoppelte Intensität eines in Richtung des Lasers zu diesem zurücklaufenden Störstrahles bezeichnet.

Forderungen für die optische Isolation der Laserstrahlquelle liegen zwischen 30 und 60 dB (Dezibel).

20 Eine Einfügungsdämpfung  $D_E$  ist als Verhältnis der Intensität  $I_O$  des Lasers zur nutzbaren Intensität  $I_N$  (nach Durchgang durch einen optischen Isolator) definiert zu

$$D_E = -10 \log \left( \frac{I_N}{I_O} \right) \quad (2)$$

25

Als Gesamtdämpfung des Rückkopplungsvorganges ergibt sich

30

$$D_G = D_E + D_R = -10 \log \left( \frac{I_R}{I_O} \right) \quad (3)$$

35 Zum Schutz vor Rückreflexionen des Lichts in die Laserstrahlquelle ist es bekannt, optische Isolatoren zu verwenden, die auf dem Effekt der Drehung von linear polarisiertem Licht durch ein Magnetfeld beruhen, wie dies von Faraday entdeckt wurde. Der einfallende Lichtstrahl durchläuft in diesem Fall einen Polarisator und wird linear polarisiert. Anschließend dreht ein Faraday-Rotator durch ein Magnetfeld die Polarisationssebene um 45° im Uhrzeigersinn, so daß die Durchlaßrichtung des folgenden Analysators erreicht wird. Das rückreflektierte

40

Licht trifft auf den Analysator, wird in Durchlaßrichtung polarisiert und anschließend durch den Faraday-Rotator wieder um 45° im Uhrzeigersinn gedreht. Das rückreflektierte Licht trifft somit auf den Polarisator mit einer zur Durchlaßrichtung um 90° gedrehten Polarisationssebene. Hierzu wird paramagnetisches Glas oder werden YIG-Kristalle (Yttrium-Eisen-Garnet) verwendet, die eine große Verdet-Konstante haben. Auf diese Weise werden für einen Wellenlängenbereich von 515 nm bis 1550 nm und Aperturdurchmesser von 1 bis 4 mm werden

45

optische Isolationen zwischen 30 und 60 dB erreicht. Die Einfügeverluste  $D_E$  liegen zwischen 0,8 und 2,0 dB. Typische Baugrößen solcher optischer Isolatoren, die auf dem Effekt der Drehung der Polarisationssebene beruhen, liegen bei 50 mm Länge und Durchmessern von 40 mm.

Bei Laserdioden, die in Fasern einkoppeln (pigtailed), ist das vorerläuterte Faraday-Prinzip der optischen Isolation ebenfalls verwendbar. Die bekannten Bauelemente sind jedoch im Einsatz mit Laserdioden oftmals zu

50

groß, zu schwer und zu teuer. Beim Einsatz von Halbleiterlasern in der Mikrooptik und in der Mikrosystemtechnik werden optische Isolatoren benötigt, die den Spezifika dieser Anwendungen im Hinblick auf Miniaturisierung, optische Parallelverarbeitung, Integrationsmöglichkeit und Massenproduktion Rechnung tragen. Die Miniaturisierung erfordert angepaßte, kostengünstige Lösungen, die hinsichtlich Gewicht und Volumen der Größenordnung von Mikro-Modulen entsprechen. Für verschiedene Anwendungen haben Laser einen Überschuß an Intensität, die durch den Laser ( $I_O$ ) oder die Empfängerempfindlichkeit bestimmt sein kann und die teilweise verbraucht werden kann oder muß. Der einfallende Laserstrahl (Nutzstrahl) kann und soll daher einer vorgegebenen Einfügungsdämpfung ( $D_E$ ) unterliegen, wobei Einfügedämpfungen von größer 3 db möglich sind. Für integrierte Optiken sind optische Isolatoren erforderlich, die an die Bedingungen der Wellenleitung angepaßt sind. Überdies fordert die

55

Mikrooptik für optische Parallelverarbeitung mit geschichteter planarer Optik Isolatoren, die an den Einsatz von Laserdioden-Zeilen angepaßt sind. Diesen Anforderungen wird mit herkömmlichen, auf dem Faraday-Effekt beruhenden oder die Polarisationsseigenschaften von Kristallen ausnützenden Isolatoren nicht entsprochen.

60

Aus der US-PS 44 90 021 ist ein Filterelement für einen kohärenten Lichtstrahl bekannt, wobei im Strahlengang ein diffraktives Gitter geneigt angeordnet ist, derart, daß der Einfallswinkel des Lichtstrahles im Bereich von 80 bis 90° liegt. Diese Lösung ist für Farbstofflaser vorgesehen, um eine hohe Auflösung bei geringen Reflexionsverlusten zu gewährleisten.

65

Aus der US-PS 46 51 315 ist eine optische Isolationsvorrichtung bekannt, die ein Endstück einer optischen Faser in einem Telekommunikationssystem bildet. Hierbei sind zwei durch einen Filterspiegel getrennte opti-



sche Medien vorgesehen, wobei eine Emittier-Faser-Verbindung in einem der Medien hergestellt wird, während die Aufspaltung und Zusammenführung durch die Empfänger in dem anderen optischen Medium erfolgt. Die vorgenannten Lösungen sind allerdings nicht geeignet, das Problem einer möglichst geringen Rückreflexion von emittiertem Laserlicht in die Laserstrahlquelle oder in die Richtung desselben zu lösen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur optischen Isolation einer Laserstrahlquelle gegen Rückreflexionen anzugeben, das einfach, kostengünstig und auf die Erfordernisse der spezifischen geometrischen Bedingungen der Mikrooptik, der Mikrosystemtechnik und Wellenleitertechnik abgestimmt ist.

Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, einen optischen Isolator anzugeben, der eine hohe Rückkopplungsdämpfung gestattet, einen unkomplizierten und einen kostengünstigen Aufbau besitzt und an die speziellen geometrischen Bedingungen der Mikrooptik und Mikrosystemtechnik ebenso wie der Wellenleitertechnik anpaßbar ist.

Die vorgenannte Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Laserstrahl durch Diffraktion einer Strahl- und Energieteilung unterworfen wird und im Anschluß an die Diffraktion das Energieniveau eines in Richtung der Laserstrahlquelle rückreflektierten Störstrahles geringer ist als das Energieniveau des Laserstrahles.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die ebenso überraschende wie hinsichtlich ihrer Realisierung unkomplizierte Überlegung zugrunde, daß es zum Schutz der Laserstrahlquelle auch bei Anwendungsfällen, bei denen objektseitig die Gefahr einer 100%igen Rückreflexion des Laserstrahles in die Quelle besteht, möglich ist, unter Vermeidung aktiver Isolatorprinzipien in Anpassung an die integrierte Optik und die Bedingungen der Wellenleitung, den Laserstrahl einer diffraktiven Strahl- und Energieteilung für den einfallenden und den zurücklaufenden Strahl zu unterziehen, derart, daß die Intensität eines in die Laserstrahlquelle zurücklaufenden Störstrahles wesentlich geringer ist als die Intensität  $I_0$  des emittierten Lichtstrahles oder die nutzbare Intensität  $I_N$ .

Dieses Verfahren hat den Vorteil leichter Anpaßbarkeit an die Quelle sowie unkomplizierter Realisierbarkeit durch eine weitere Vielfalt des Einsatzes diffraktiver optischer Elemente, deren optische Eigenschaften präzise auf die Eigenschaften des Laserstrahles einstellbar sind.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Laserstrahl auf ein diffraktives optisches Element geführt, das für den von der Laserstrahlquelle kommenden, einfallenden Laserstrahl (Störstrahlrichtung) eine höhere Beugungsaktivität als für den in sich reflektierten, auf das diffraktive optische Element zurücklaufenden Strahl (Rückstrahlrichtung) aufweist.

Nach einer bevorzugten Verfahrensführung wird in Abhängigkeit von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel des von der Laserstrahlquelle kommenden, einfallenden Laserstrahles sowie in Abhängigkeit von einer charakteristischen Konstanten des diffraktiven optischen Elementes der einfallende Laserstrahl durch das diffraktive optische Element nur in die 0. Beugungsordnung und in die +1. Beugungsordnung unter Ausbildung eines Beugungswinkels zerlegt, durch den nach einer Reflexion der in sich selbst auf das diffraktive optische Element zurücklaufende Strahl der +1. Beugungsordnung dieser in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung zerlegt wird.

Zur Erreichung kompakter optischer Isolation wird der Laserstrahl abfolgend vorzugsweise einer mehrfachen Diffraktion, vorzugsweise an zumindest einem Gitter unterzogen.

Es wird ferner bevorzugt, daß neben der optischen Isolation durch Diffraktion des Laserstrahles dieser auch zugleich einer, vorzugsweise vergrößernden oder verkleinernden Strahlformung (Strahlaufweitung bzw. Strahleinengung) in einer Dimension unterzogen wird.

Weitere, bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den übrigen Unteransprüchen dargelegt.

Hinsichtlich eines optischen Isolators der eingangs genannten Art wird die vorgenannte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß dieser zumindest eine diffraktive Gitteranordnung aufweist, die in Abhängigkeit von einer Wellenlänge und einem Einfallswinkel des Laserstrahles sowie einer Gitterkonstanten des Gitters eine höhere Beugungseffektivität für den emittierten Laserstrahl (Nutzstrahlrichtung) als für einen in sich reflektierten, auf das Gitter zurücklaufenden Strahl (Störstrahlrichtung) besitzt.

Vorzugsweise weist der optische Isolator als Beugungsgitter zumindest ein Reflexions-Gitter und/oder ein Transmissions-Gitter auf, das ein lineares oder auch ein in mehreren Richtungen wirksames, ebenes Gitter (wie z. B. ein Kreuzgitter) sein kann.

Vorzugsweise wird als diffraktives optisches Element zumindest ein Gitter verwendet, das als Oberflächenrelief ausgeführt ist, vorzugsweise ein tiefmoduliertes Phasengitter.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen optischen Isolators, der vorzugsweise durch ein Oberflächenrelief realisiert werden kann und in einfachster Form ein lineares Phasengitter ist, oder abbildende Eigenschaften aufweist und in Reflexion oder Transmission arbeitet, beugt das Gitter den einfallenden Laserstrahl nur in eine 0. Beugungsordnung und eine +1. Beugungsordnung, unter Ausbildung eines Beugungswinkels, durch den nach einer objektseitigen Reflexion der in sich selbst auf das Gitter zurücklaufende Strahl der +1. Beugungsordnung in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung zerlegbar ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist der erfindungsgemäße optische Isolator zumindest zwei optische Elemente auf, von denen zumindest eines diffraktives Gitter ist, wobei die Elemente prismaartig in Ebenen angeordnet sind, die unter einem Winkel zueinander verlaufen, derart, daß für jede Beugung an einem in der gleichen Ebene angeordneten optischen Element der ursprüngliche Einfallswinkel oder Beugungswinkel reproduzierbar ist.

Nach einer vorteilhaften Ausführungsform des optischen Isolators nach der vorliegenden Erfindung bildet dieser ein Prisma, dessen unter einem spitzen Winkel zueinander verlaufende Seitenflächen zumindest ein



ebenes Reflexions-Gitter sowie einen Spiegel und/oder ein weiteres, ebenes Reflexions-Gitter tragen.

In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform, die mit Vorteil für die optische Isolation einer Mehrzahl paralleler Laserstrahlen geeignet ist, weist der optische Isolator ein Prisma mit zwei diffraktiven Gittern und einer Spiegelfläche auf, wobei dieser optische Isolator auch die Möglichkeit einer Vertauschung der Reihenfolge der verschiedenen Laserstrahlenbündel besitzt.

Für den Fall der Beibehaltung einer vorgegebenen Richtung des Laserstrahles, gegebenenfalls unter paralleler Strahlversetzung, weist der optische Isolator nach einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ein Prisma mit einem Transmissions-Gitter und einem Reflexions-Gitter auf einer Strahleintrittsseite, einem Reflexions-Gitter auf einer weiteren Seite und einem Transmissions-Gitter auf einer Strahlaustrittsseite des Prismas auf.

Nach einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Isolators weist dieser ein Prisma mit einem abbildenden diffraktiven optischen Element (DOE), vorzugsweise einem holografisch optischen Element (HOE), zur Einstrahlung des Laserlichtbündels, z. B. von einer Laserdiode, auf, in Verbindung mit zwei Reflexions-Gittern an den in einem spitzen Winkel zueinander verlaufenden Seiten des Prismas, das nach Strahlauflaufweiteung des parallelen Bündels in einer Dimension an seiner Strahlaustrittsseite ein Transmissions-Gitter aufweist.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist ferner ein diffraktives Gitter in vertikaler Anordnung in Verbindung mit einem Schichtwellenleiter vorgesehen, wobei die Gitterstruktur (Oberflächenrelief) senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von in dem Schichtwellenleiter geführten Moden angeordnet ist und diese Gitterstruktur in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Laserlichtes, dem Einfallswinkel und den Gitterparametern ebenfalls eine höhere Beugungseffektivität für den emittierten Laserstrahl gegenüber einem in sich reflektierten, auf das Gitter zurücklaufenden Strahl aufweist.

Weitere, bevorzugte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen optischen Isolators sind in den übrigen Unteransprüchen dargestellt.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen und zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. In diesen zeigen:

Fig. 1 einen optischen Isolator als Transmissions-Gitter nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei Fig. 1a einen Strahlenverlauf bis zu einer objektseitigen Reflexion und Fig. 1b einen Strahlenverlauf des zurückreflektierten Strahles zeigt.

Fig. 2 einen optischen Isolator als Reflexions-Gitter nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei Fig. 2a einen Strahlenverlauf für den emittierten Laserstrahl (vor einer objektseitigen Reflexion) und Fig. 2b den Strahlenverlauf des zurückreflektierten Strahles (nach einer objektseitigen Reflexion) zeigt.

Fig. 3 ein Diagramm einer Gesamtdämpfung ( $D_T$ ) und einer Rückkopplungsdämpfung ( $D_R$ ) als Funktion der Anzahl der Beugungen für ein diffraktives Gitter für verschiedene Transmissions- oder Reflexionsfaktoren,

Fig. 4 eine Darstellung eines relativen Verlaufes der nutzbaren Intensität des Laserstrahles in Transmission oder Reflexion als Funktion der Zahl der Beugungen bei diffraktiven Gittern für Fälle A1, B1 und B2 nach Fig. 3,

Fig. 5 einen optischen Isolator als Prisma mit zwei Reflexions-Gittern nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung zur Erläuterung der Reproduktion der Einstrahlungsverhältnisse für jedes Gitter,

Fig. 6 einen optischen Isolator als Prisma, einem Spiegel und einem ebenen Phasenrelief-Gitter nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 7 einen optischen Isolator mit einem Prisma ähnlich der Ausführungsform nach Fig. 6, jedoch mit zwei Phasenrelief-Gittern nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 8 einen optischen Isolator mit einem Prisma, zwei Gittern und eine Spiegelfläche, insbesondere für eine Mehrzahl paralleler Lichtstrahlen nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 9 einen optischen Isolator mit einem Prisma, zwei Reflexions-Gittern und zwei Transmissions-Gittern zur Strahlein- und -auskopplung unter Beibehaltung der vorgegebenen Einstrahlungsrichtung,

Fig. 10 einen optischen Isolator mit einem Prisma und gleichzeitiger Strahlformung in einer Dimension (Strahlauflaufweiteung) nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 11 einen optischen Isolator mit einem Prisma und gleichzeitiger Strahlformung in einer Dimension (Strahlverkleinerung) nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 12 einen optischen Isolator mit einer Mehrzahl von Transmissions-Gittern nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 13 einen optischen Isolator mit einem aus zwei Prismen bestehenden Doppelprisma, zwei Spiegeln und einem Transmissions-Gitter nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 14 einen optischen Isolator als Kreuzgitter nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, und

Fig. 15a einen optischen Isolator in Verbindung mit einem Schichtwellenleiter nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 15b eine Einzelheit 1 nach Fig. 15a,

Fig. 15c die Einzelheit nach Fig. 15b in perspektivischer Darstellung.

Ein erstes Ausführungsbeispiel des optischen Isolators 1 wird nachstehend anhand der grundsätzlichen Anordnungen nach Fig. 1 und 2 unter Einschluß der zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhänge erläutert.

Fig. 1 zeigt den optischen Isolator 1, der hier aus einer lichtdurchlässigen Platte 2 besteht, an deren Oberseite ein diffraktives Gitter 3, das in diesem Fall zur Beugung eines einfallenden Laserlichtstrahles  $S_e$  als Transmissions-Gitter 4 ausgelegt ist, aufgebracht ist.

Während Fig. 1a den Fall der Einstrahlung des von einer, hier nicht gezeigten Laserstrahlquelle emittierten einfallenden Laserstrahles  $S_e$  zeigt, ist in Fig. 1b der umgekehrte Strahlengang nach Reflexion des aus dem optischen Isolator 1 austretenden, gebeugten Lichtstrahles  $S_a$  an einem Objekt 5 dargestellt.

Zur optischen Isolation wird bei einem solchen optischen Isolator 1 die Eigenschaft des Gitters 3 genutzt,



unter Anpassung der Gitterkonstanten  $g$  an die Lichtwellenlänge  $\lambda$ , Beugungsordnungen, insbesondere höhere Beugungsordnungen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel  $\alpha$  des einfallenden Laserstrahles  $Se$  zu unterdrücken. Überdies ist eine unterschiedliche Beugungseffektivität bei unterschiedlichen Einfallswinkeln  $\alpha$  gegeben.

Im einfachsten Fall ist das Gitter 3 ein lineares Phasengitter, das zum Beispiel durch ein Oberflächenrelief realisiert werden oder das abbildende Eigenschaften aufweisen kann.

Das Gitter 3 kann, wie in den Fig. 1a und 1b für Transmission oder, wie in Fig. 2a und Fig. 2b gezeigt, für Reflexion ausgelegt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung werden unter dem Begriff diffraktives Gitter oder diffraktives optisches Element Diffraktionselemente bzw. -gitter beider Art verstanden, d. h. Beugungsgitter, die entweder für Reflexion oder Transmission ausgelegt sind.

Durch Abstimmung der Gitterkonstanten  $g$  des Transmissions-Gitters 4 in Fig. 1a auf die Lichtwellenlänge  $\lambda$  des einfallenden Lichtstrahles  $Se$  sowie des Einfallswinkels  $\alpha$  wird erreicht, daß der einfallende Lichtstrahl  $Se$  nur in die 0. und +1. Beugungsordnung zerlegt wird und höhere Beugungsordnungen nicht auftreten.

Dabei ergibt sich der Beugungswinkel  $\beta_e$  derart, daß bei Rückreflexion an dem Objekt 5 und Auftreten eines Rückreflexionsstrahles  $S_r$ , der unter dem Einfallswinkel  $\alpha_r$  (= Beugungswinkel  $\beta_e$ ) auf das Transmissions-Gitter 4 rückreflektiert wird, dieser rückreflektierte Lichtstrahl  $S_r$  in die 0. und -1. Ordnung sowie zusätzlich in die +1. Ordnung zerlegt wird, wobei lediglich der Strahlteil der +1. Ordnung in Richtung der Laserstrahlquelle als Störstrahl  $S_s$  reflektiert wird. Im übrigen aber wird die Energie in drei Strahlenbündel aufgeteilt, so daß der in Richtung der Laserquelle gehende Anteil um den Betrag der Intensität der 0. und -1. Ordnung geschwächt wird, so daß sich eine unterschiedliche Energiebilanz für die Einstrahlungsrichtung und für die Rückreflexionsrichtung und damit eine entsprechende optische Isolation der Laserstrahlquelle ergibt.

Der Zusammenhang der Winkel für Transmission (Fig. 1) ist durch die Gittergleichung gegeben:

$$\sin(\alpha) - \sin(\beta) = k \cdot \frac{\lambda}{g} \quad (4)$$

Für Reflexion (Fig. 2) unterscheidet sich die Gittergleichung nur durch ein Vorzeichen.

In der Gittergleichung (4) bezeichnet  $\lambda$  die Wellenlänge,  $k$  die Beugungsordnung,  $\alpha$  den Einfallswinkel und  $\beta$  den Beugungswinkel in Transmission.

Das Transmissionsgitter 4 ist in der einfachsten Form ein lineares Phasengitter, das durch ein Oberflächenrelief realisiert wird. Für bestimmte Anwendungsfälle kann gegebenenfalls das Gitter abbildende Eigenschaften aufweisen.

Die Einstellung der Beugungseffektivität des Transmissions-Gitters 4 für den Einfallswinkel  $\alpha$  erfolgt bei Ausbildung des Transmissions-Gitters als Oberflächenrelief mit entsprechender Wahl der Verhältnisse der Lichtwellenlänge  $\lambda$  zur Furchentiefe des Oberflächenreliefs  $h$  (Modulationstiefe) und zur Gitterkonstante  $g$ . Derjenige Einfallswinkel  $\alpha$ , der nur eine Beugungsordnung hat, wird durch folgende Bedingung bestimmt:

$$\left| \sin(\alpha) - \frac{\lambda}{g} \right| < 1 \quad k = 1 \quad (5)$$

$$\left| \sin(\alpha) - k \cdot \frac{\lambda}{g} \right| \geq 1 \quad k = -1 ; \quad |k| \geq 2 \quad (6)$$

Der Zusammenhang zwischen Einfalls- und Beugungswinkel  $\alpha$ ,  $\beta$  (hier  $\alpha_e$ ,  $\beta_e$ ) ist durch die vorgenannte Gittergleichung gegeben.

Der in Fig. 1a aus dem Transmissions-Gitter 4 austretende, gebeugte Lichtstrahl  $S_a$  (Nutzstrahlrichtung) wird um den Betrag der Intensität in der 0. Beugungsordnung geschwächt. Das als Störstrahl  $S_s$  von dem Transmissions-Gitter in Richtung der Laserstrahlquelle gebeugte Licht der +1. Beugungsordnung ist um den Betrag der Intensitäten in Richtung der 0. Beugungsordnung und der -1. Beugungsordnung geschwächt.

Die Beugungseffektivität des Gitters 3 ist außerdem eine Funktion des Einfallswinkels  $\alpha$  des Laserstrahles  $Se$  und liefert für den Einfallswinkel  $\alpha = \alpha_e = \beta_r$  und für den Rückreflexions-Einfallswinkel des rückreflektierten Strahles  $S_r$  (Fig. 1b)  $\alpha = \alpha_r = \beta_e$  unterschiedliche Werte der Transmission, d. h. es ergeben sich, auch wenn die -1. Beugungsordnung nicht auftritt, unterschiedliche Transmissionsfaktoren  $W_a$  und  $W_b$  für unterschiedliche Einfallswinkel  $\alpha$ . Der Transmissionsfaktor bzw. Reflexionsfaktor (Ausführungsform nach Fig. 2) des einfallenden Lichtstrahles  $Se$  ist mit  $W_a$  bezeichnet,  $W_b$  bezeichnet den Transmissionsfaktor bzw. Reflexionsfaktor (Fig. 2) des rückreflektierten Lichtstrahles  $S_r$ . Die nutzbare Intensität ( $I_N$ ) kann im ungünstigsten Fall vollständig in Isolationsrichtung auf die Laserstrahlquelle reflektiert werden. Für den in Richtung der Laserstrahlquelle, d. h. in Einfallrichtung zurückgebeugten Störstrahl  $S_s$  ( $\beta_r = \alpha_e$ ) gilt dann als Intensitätsfaktor ein Transmissions- bzw. Reflexionsfaktor:

$$T = W_a \cdot W_b ; \quad W_a = \frac{I_N}{I_O} ; \quad W_b = \frac{I_R}{I_N} \quad (7)$$



für den Anteil, der in Einfallrichtung zurückgebeugt +1. Ordnung.

Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich mit den eingangs genannten Beziehungen (1) bis (3) zur Rückkopplungsdämpfung  $D_R$ , Einfügungsdämpfung  $D_E$  und Gesamtdämpfung  $D_G$  ( $D_G = D_R + D_E$ ) die Dämpfungsgrößen. Die isolierende Wirkung des optischen Isolators 1 wird von  $W_b$ , d. h. vom Transmissions- bzw. Reflexionsfaktor des Störstrahles  $S_s$  mit der Intensität  $W_b$  bestimmt.

Da die Beugungseffektivität des Gitters 3 für die beiden Faktoren  $W_a$  und  $W_b$  jeweils nur in der gleichen Größenordnung veränderbar ist, empfiehlt es sich, das vorerläuterte Isolationsprinzip mehrfach anzuwenden. Für das Prinzip von N-fach hintereinandergeschalteten diffraktiven optischen Isolatoren gilt:

$$D_G = -10 \cdot \log(T_G) \quad ; \quad T_G = \prod_{k=1}^N W_{ak} \cdot W_{bk} \quad (8)$$

Die Wirksamkeit der optischen Isolation wird insgesamt von den Transmissions- bzw. Reflexionsfaktoren  $W_{ak}$  und  $W_{bk}$  für  $k = N$  bestimmt, d. h. vom Verlauf der Beugungseffektivität als Funktion des Einfallswinkels  $\alpha$ . Dabei bestimmt  $W_{ak}$  die nach  $k$  Transmissionen oder Reflexionen nutzbare Intensität und  $W_{bk}$  die nach  $k$  Transmissionen oder Reflexionen zurückgekoppelte Intensität. Die günstigste Variante wird durch Optimierung des Effizienzverlaufes erreicht. Dabei wirken die Profilformen sowie die Verhältnisse der Wellenlänge  $\lambda$  zur Modulationstiefe  $h$  und zur Gitterkonstante  $g$  zusammen. Dieser Zusammenhang ist im Falle der Ausbildung des Gitters 3 als Oberflächenrelief nicht trivial, da hier eine analytische Lösung der Wellengleichung erforderlich wäre. Zwar sind numerische Lösungen unter verschiedenen Randbedingungen bekannt, jedoch sehr aufwendig und im allgemeinen nicht verfügbar. Aus experimentellen Untersuchungen können realistische Werte  $W_{ak}$  und  $W_{bk}$  für eine Wellenlänge von  $\lambda = 0,633 \text{ nm}$  gewonnen werden, so daß mit den vorgenannten Beziehungen die Gesamtdämpfung  $D_G$  und die Einfügungsdämpfung  $D_R$  berechnet werden kann. Entsprechende Diagramme sind in den Fig. 3 und 4 dargestellt.

Fig. 3 stellt den Verlauf der Gesamtdämpfung  $D_G$  und der Rückkopplungsdämpfung  $D_R$  als Funktion der Zahl der Beugungen bei einem diffraktiven optischen Isolator für verschiedene Transmissions- oder Reflexionsfaktoren dar. Für die Fälle A1, B1 und B2 sind die Gesamtdämpfungen  $D_G$  bzw. die Einfügungsdämpfung  $D_E$  über der Anzahl der Beugungen (Transmissionen und/oder Reflexionen)  $N$  durch das diffraktive optische Element bzw. Gitter 3 aufgetragen.

Fig. 4 stellt den relativen Verlauf der Nutzintensität  $I_N$  in Transmission oder Reflexion als Funktion der Zahl der Beugungen bei diffraktiven optischen Isolatoren nach den Fällen A1, B1 und B2 dar.

Für den Effizienzverlauf gilt mit den experimentell ermittelten Zusammenhängen gemäß Fig. 3 und 4 zum Beispiel für ein tief moduliertes SIN-Gitter:

$$h/g = 1,0, g = 0,75 \text{ } \mu\text{m}, \lambda = 0,633 \text{ } \mu\text{m}, \alpha_e = -42^\circ, \beta_e = 10,07^\circ, W_{ak} = 0,65 \text{ und } W_{bk} = 0,20.$$

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 verdeutlicht die Ausführung des Beugungsgitters 3 als Reflexions-Gitter 6, wobei Fig. 2a das Strahlenbild für die Einstrahlung und Fig. 2b das Strahlenbild für die Rückreflexion darstellt. Die Bezeichnungen folgen im übrigen denen des ersten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1. Auch in diesem Fall sind Wellenlänge  $\lambda$ , Gitterkonstante  $g$  und Einfallswinkel  $\alpha_e$  des einfallenden Laserstrahles  $S_e$  so gewählt, daß die Beugung des einfallenden Laserstrahles  $S_e$  in Reflexion mit dem Reflexionsfaktor  $W_a$  lediglich in die 0. Beugungsordnung und die +1. Beugungsordnung erfolgt. Der Beugungswinkel der ersten Ordnung ist wiederum mit  $\beta_e$  bezeichnet. Nach objektseitiger Reflexion trifft der rückreflektierte Rückstrahl  $S_r$  unter dem Einfallswinkel  $\alpha_r$  (= Beugungswinkel  $\beta_e$ ) auf das Reflexions-Gitter 6 und wird mit dem Reflexionsfaktor  $W_b$  in drei Strahlenbündel der 0. Beugungsordnung, der -1. Beugungsordnung und der +1. Beugungsordnung zerlegt, wobei lediglich das Licht der +1. Beugungsordnung in Einfallrichtung wieder als Störstrahl zu der Laserstrahlquelle geführt wird, so daß die Intensität der Rückkopplung  $I_R$  wesentlich geringer ist als die Intensität des Lasers  $I_0$  oder die nutzbare Intensität  $I_N$  des Laserstrahles  $S_a$  der 1. Beugungsordnung in Nutzstrahlrichtung (Fig. 2a). Auch hier ergibt sich somit eine unterschiedliche Energiebilanz des einfallenden Laserlichtes  $S_e$  sowie des austretenden Laserstrahles 1. Beugungsordnung  $S_a$  in Nutzstrahlrichtung gegenüber dem Störstrahl  $S_s$  in Richtung der Laserstrahlquelle.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines optischen Isolators 1 ist in Fig. 5 dargestellt, wobei zugleich die optischen Verhältnisse erläutert werden, die dazu führen, daß an jedem Gitter 3 die ursprünglichen Einstrahlungsverhältnisse reproduziert werden.

Auch dieses Ausführungsbeispiel betrifft eine Applikation des Laserlichtes im Freiraum, d. h. von ungeführtem Laserlicht (z. B. auch in Luft oder transparenten Medien), während ein Ausführungsbeispiel für die Applikation im Wellenleiterbereich mit geführtem Licht weiter unten anhand von Fig. 14 erläutert ist. Generell kann bei den hier erläuterten Ausführungsbeispielen die Nutzung der optischen Isolatoren 1 auch gleichzeitig durch eine Mehrzahl paralleler Lichtbündel erfolgen.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß für das gewünschte Maß an optischer Isolation eine mehrfache Diffraktion in Reflexion oder Transmission an einem diffraktiven optischen Element wünschenswert ist. Um eine Mehrfachbeugung in Reflexion zu realisieren, müssen die Flächen, die die diffraktiven optischen Elemente, hier Reflexions-Gitter 6, tragen, unter einem Winkel  $\omega$  so zueinander orientiert sein, daß sich für jedes Beugungsgitter, hier Reflexions-Gitter 6 die ursprünglichen Einstrahlungsverhältnisse reproduzieren.

In Fig. 5 ist der optische Isolator 1 als Prisma 7 ausgeführt, dessen Seitenflächen 8 und 9, die unter einem spitzen Winkel zueinander verlaufen, jeweils mit einem Reflexions-Gitter 6 versehen sind, wobei eine Einstrahlung eines Laserstrahles  $S_e$  außerhalb des zugehörigen Gitters 6 erfolgt. Für den Zusammenhang für die  $k$ . und





k + 1. Beugung in Reflexion gilt:

$$\omega = \alpha_{ek} + \beta_{rk} \text{ und } \alpha_{ek} - \beta_{ek} = \alpha_{ek+1} - \beta_{ek+1} \quad k = 1, 2$$

wobei  $\alpha_{ek}$  die Einfallswinkel und  $\beta_{ek}$  die Beugungswinkel in Nutzstrahlrichtung darstellen, während mit  $\alpha_{rk}$  die Einfallswinkel des rückreflektierten Strahles  $S_r$  und mit  $\beta_{rk}$  die Beugungswinkel des Störstrahles  $S_s$  in Richtung der Laserstrahlquelle (Störstrahlrichtung) bezeichnet sind.

Die Reflexions-Gitter 6 können unter dem Winkel auch auf entsprechend angeordneten Platten, insbesondere Glasplatten angeordnet sein oder auch freitragend im Raum bzw. in einem Festkörper integriert angeordnet sein, wie dies zum Beispiel für einen Schichtwellenleiter gilt (für gleiche Ausführungsbeispiele gemäß Fig. 14) oder im Hinblick auf Transmissions-Gitter in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 11 dargestellt ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines optischen Isolators 1 ist in Fig. 6 dargestellt. Hierbei ist der optische Isolator 1 ebenfalls in Gestalt eines Prismas 7 ausgebildet, das zwei unter einem spitzen Winkel angeordnete Seitenflächen 8, 9 besitzt. Die erste Fläche 8 ist teilweise mit einem Spiegel 10 versehen, während die zweite Seitenfläche 9 überwiegend mit einem ebenen Phasenrelief-Reflexionsgitter 6 versehen ist. Im Bereich des Spiegels 10 finden fünf Reflexionen eines einfallenden, außerhalb des Reflexions-Gitters 6 eingestrahnten Laserlichtstrahles  $S_e$  statt, während an dem Reflexions-Gitter 6 fünf Beugungen in Reflexion erfolgen ( $N = 5$ ). Der einfallende Lichtstrahl  $S_e$  tritt an einem spitzen seitigen, unbeschichteten Flächenabschnitt der Seitenfläche 8 in das Prisma 7 ein und wird am Spiegel 10 an der ersten Seitenfläche 8 reflektiert, gelangt dann unter den konstanten Einfallswinkel  $\alpha_{ek}$  auf das Reflexions-Gitter 6 und wird zum Spiegel 10 gebeugt. Dies wiederholt sich, bis das Licht an einem nicht-verspiegelten, von der Spitze des Prismas 7 abgewandten Teilstück der ersten Seitenfläche 8 als ausfallender Lichtstrahl  $S_a$  aus dem Prisma 7 austritt. Aus dem im Hinblick auf die Ausführungsform nach Fig. 5 erläuterten Zusammenhang

$$\alpha_{ek} - \beta_{ek} = \alpha_{ek+1} - \beta_{ek+1} = \text{const.}$$

ergibt sich für ein Gitter 3 und einen Spiegel 10

$$2\alpha_{sk} = \alpha_k - \beta_k,$$

wobei  $\alpha_{sk}$  den Reflexionswinkel am k-ten Spiegel bezeichnet. Der konstante Einfallswinkel  $\alpha_k$  ergibt sich aus  $2\alpha_{rk} = \alpha_{ek} - \beta_{rk}$ . Der Zusammenhang des Einfallswinkel  $\alpha_{ek}$  mit dem Prismenwinkel  $\omega$  ist für diesen Fall, in dem  $\alpha_{ek} = \beta_{rk}$  gilt, durch  $\omega = 2\alpha_k$  gegeben.

Die Beugungseffektivität ist für den einfallenden Lichtstrahl  $S_e$  größer als für den rückreflektierten Lichtstrahl  $S_r$ , wobei der Einfallswinkel  $\alpha_{ek}$  gleich dem Beugungswinkel  $\beta_{rk}$  ist.

Die Dämpfungsparameter können zum Beispiel aus Fig. 3 entnommen werden. Dieser optische Isolator 1 hat den Vorteil, daß eine N-fache Beugung in Reflexion mit nur einem Gitter 3 realisiert wird. Die Anzahl Reflexionen ist von den Winkeln und den Längen der ersten und zweiten Flächen 8 und 9 des Prismas 7 abhängig, im allgemeinen wird für einen derartigen optischen Isolator 1 eine etwas längere Prismenbasis benötigt.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines diffraktiven optischen Isolators 1 ist in Fig. 7 dargestellt. Diese Ausführungsform verwendet, ähnlich wie das Ausführungsbeispiel nach Fig. 6, ein Prisma 7, dessen Seitenflächen 8 und 9 unter einem Winkel  $\omega$  zueinander geneigt angeordnet sind und jeweils ein Phasenrelief-Gitter als Reflexions-Gitter 6 trägt. Der einfallende Laserstrahl  $S_e$  wird bei dieser Anordnung an jedem Reflexions-Gitter 6 fünfmal gebeugt, so daß die Anzahl der Beugungen insgesamt  $N = 10$  beträgt.

Der einfallende Laserstrahl  $S_e$  tritt an einem spitzen seitigen, unbeschichteten Teil der Seitenfläche 8 in das Prisma 7 ein und trifft unter dem Einfallswinkel  $\alpha_k$  auf das untere, entlang der Prismenbasis angeordnete Reflexions-Gitter 6, wobei die Einstrahlungsverhältnisse in Verbindung mit der, in Fig. 7 dargestellten, im Querschnitt als rechtwinkliges Dreieck ausgeführten Prisma 7, zu einer besonders einfachen Anordnung führen, derart, daß der Einfallswinkel  $\alpha_k$ , der nach jeder Beugung reproduziert ist, gleich dem Basiswinkel  $\omega$  des Prismas 7 ist und der Beugungswinkel  $\beta_k$  immer  $0^\circ$  beträgt. Der Lichtstrahl  $S_a$  tritt unter dem gleichen Winkel aus dem Prisma 7 aus, unter dem der einfallende Lichtstrahl  $S_e$  auf das Prisma 7 auftrifft.

Gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 6 hat diese Anordnung den Vorteil, daß die Baugröße des optischen Isolators 1 verringert werden kann.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines diffraktiven optischen Isolators 1 zeigt Fig. 8, bestehend aus einem Prisma 7, das auf der ersten Seitenfläche 8 ein Reflexions-Gitter 6 und auf der als Prismenbasis vorgesehenen, weiteren Seitenfläche 9 abfolgend ein Reflexions-Gitter 6 und einen Spiegel 10 aufweist.

Ein solches Prisma 7, das ebenso wie bei den anderen Ausführungsbeispielen hinsichtlich seiner Beugungsgitter (hier: Reflexionsgitter 6, Gitterkonstante  $g$ ) sowie hinsichtlich Modulationstiefe in Abstimmung auf die Lichtwellenlänge  $\lambda$  und den Einfallswinkel  $\alpha$  so ausgelegt ist, daß bei der Beugung an einem Gitter 3 (Reflexions-Gitter 6 oder Transmissions-Gitter 4) lediglich die 0. und +1. Beugungsordnung auftreten, so daß bei Auftreffen des rückreflektierten Strahles  $S_r$  auf das jeweilige Gitter 3 eine Beugung in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung erzeugt werden, ist insbesondere als optischer Isolator für mehrere parallele Laserstrahlen  $S_e$  geeignet, die im vorliegenden Fall rechtwinklig auf einen gitterfreien Bereich der ersten Seitenfläche 8 auftreffen und unter dem gleichen Winkel nach Reflexion am Spiegel 9 wieder aus dem Prisma 7 austreten. Auf diese Weise können mehrere, parallel einfallende Lichtstrahlen  $S_e$  den gleichen optischen Isolator 1 benutzen, und überdies kann die Reihenfolge der verschiedenen Strahlenbündel zwischen Ein- und Austrittsseite vertauscht werden, wie dies durch die in Fig. 8 mit 1, 2, 3 und in unterschiedlichen Stricharten dargestellten Laserstrahlen ersichtlich ist. Überdies kann der Abstand der verschiedenen Laserstrahlbündel 1, 2,



3 zwischen Ein- und Austrittsseite verändert, im vorliegenden Fall nach Fig. 8 in Richtung des Strahlaustritts vergrößert werden.

Der Spiegel 10 kann auch durch ein diffraktives optisches Element, wie ein weiteres Reflexions-Gitter ersetzt sein, wobei eine solche Ausführungsform dann zu einer Abwandlung des Ausführungsbeispiels nach Fig. 7 führen würde. Fehlt der Spiegel 10 in der Ausführungsform nach Fig. 8, treten die Laserstrahlbündel 1, 2, 3 an der Unterseite des Prismas 7 aus diesem aus, gegebenenfalls nach Diffraction an einem weiteren Transmissions-Gitter.

Eine weitere Ausführungsform für einen optischen Isolator 1 ist in Fig. 9 gezeigt, der wiederum ein im Querschnitt ein rechtwinkliges Dreieck bildendes Prisma 7 aufweist, dessen unter einem spitzen Winkel zueinander verlaufende Seitenflächen 8 und 9 zur Strahlbeugung innerhalb des Prismas 7 jeweils ein Reflexions-Gitter 6 tragen, während im Bereich des Strahleintritts die Seitenfläche 8 zusätzlich ein Transmissions-Gitter 4 aufweist, wobei an einer Seitenfläche 11 des Strahlaustritts ebenfalls ein Transmissions-Gitter 4 angeordnet ist. Vorzugsweise kann das Prisma 7 in einem, ähnlich dargestellten Gehäuse angeordnet sein, das lediglich Öffnungen im Bereich des Strahleintritts (Transmissions-Gitter 4) sowie im Bereich des Strahlaustritts aufweist.

Wie dieses Ausführungsbeispiel verdeutlicht, ist es mit einem derartigen Prisma, dessen Transmissions-Gitter 4 und Reflexions-Gitter 6 den eingangs erläuterten Diffractionsprinzipien folgen, möglich, eine Strahlversetzung um den Betrag  $a$  an der Strahlaustrittsseite gegenüber dem Strahleintritt zu erreichen, wobei die Richtung zwischen eintretendem Laserstrahl  $Se$  und austretendem Laserstrahl  $Sa$  jedoch unverändert bleibt.

Es ist durch entsprechende Dimensionierung auch möglich, den Betrag der Strahlversetzung  $a$  zu 0 werden zu lassen und den austretenden, mehrfach gebeugten Laserstrahl  $Sa$  in Verlängerung des eintretenden Laserstrahles  $Se$  aus dem Prisma 7 austreten zu lassen.

Die Ausführungsbeispiele nach den Fig. 10 und 11 zeigen eine Erweiterung gegenüber der Gestaltung der bisher erläuterten optischen Isolatoren 1 derart, daß in diesen Fällen der optische Isolator 1 mit weiteren Funktionselementen versehen ist, so daß neben der unveränderten Wirkung der optischen Isolation zugleich auch eine Strahlformung einer Quelle, vorzugsweise einer Laserdiode 12 erfolgen kann. In der Ausführungsform nach Fig. 10 erfolgt eine Strahlaufweitung des einfallenden Laserstrahlbündels in einer Dimension. Zu diesem Zweck ist der optische Isolator 1 wiederum als im Querschnitt rechtwinkliges Prisma 7 ausgeführt, dessen Seitenflächen 8 und 9 mit Reflexions-Gittern 6 zur optischen Isolation versehen sind.

Im Bereich des Eintritts des Laserstrahlbündels von der Laserdiode 12 an der ersten Seitenfläche 8 weist diese ein abbildendes diffraktives optisches Element DOE, d. h. ein Gitter mit abbildenden Eigenschaften, vorzugsweise ein holographisch optisches Element HOE auf, durch das eine Strahlformung in einer Dimension erfolgt, wobei auf der Strahlaustrittsseite des Prismas 7 ein Transmissions-Gitter 4 angeordnet ist, über das das aufgeweitete, in einer Dimension geformte Laserstrahlbündel in Fig. 10 in Pfeilrichtung austritt.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 11 zeigt die umgekehrte Möglichkeit der Verkleinerung der Strahldimension, wobei die Strahleintritts- und Strahlaustrittsseite des Prismas 7 gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 10 vertauscht sind und eine Laserdiode zu der in Fig. 11 rechten Seite des Prismas 7 hin gerichtet ist, wobei diese Seitenfläche 13 ein abbildendes diffraktives optisches Element DOE, d. h. ein Gitter 4 mit abbildenden Eigenschaften bzw. vorzugsweise ein holographisch optisches Element trägt. Die beiden Seitenflächen 8 und 9 sind wiederum mit Reflexions-Gittern 6 versehen, während im Bereich des Strahlaustritts an der in Fig. 11 linken Seite das in einer Dimension verkleinerte Laserstrahlbündel über ein Transmissions-Gitter 4 austritt.

Auf diese Weise kann der optische Isolator zugleich zur Strahlformung eingesetzt werden. Das Prinzip der Verkleinerung oder Vergrößerung einer Strahldimension ist bei geeigneter Gestaltung der Beugungseffektivität der eingesetzten Gitter 3 auch ohne optische Isolation anwendbar.

Fig. 12 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines optischen Isolators 1 mit der Realisierung des diffraktiven Isolatorprinzips in Transmission. In diesem Fall sind in einem transparenten Quader 14, in Strahlrichtung abfolgend eine Mehrzahl von Prismen 7 mit Transmissions-Gittern 4 jeweils unter dem gleichen, hier  $45^\circ$  betragenden Neigungswinkel zueinander angeordnet, so daß der Einfallswinkel  $\alpha_k 45^\circ$  und der Beugungswinkel  $\beta_k 0^\circ$  ist. Der einfallende Laserstrahl  $Se$  durchläuft eine Kaskade von ebenen Transmissions-Gittern 4 und wird unter den eingangs dargelegten Verhältnissen in bezug auf die Energie- und Strahlteilung zwischen hinlaufendem Nutzstrahl und rücklaufendem Reflexionsstrahl mehrfach gebeugt.

Fig. 12 zeigt in dünner und dicker Strichstärke jeweils 2 einfallende Laserstrahlen  $Se$ , um zu verdeutlichen, daß dieser optische Isolator 1 ebenfalls bevorzugt zur Beeinflussung von parallelen, verschiedenen Laserstrahlbündeln genutzt werden kann, die mit dem Abstand  $t_e$  in den optischen Isolator 1 eintreten und diesen mit einem vergrößerten Abstand  $t_a$  verlassen.

Eine solche Anordnung ist vorteilhaft für die Herstellung diffraktiver optischer Isolatoren 1 für die integrierte Optik und in Verbindung mit der Diffraction geführten Lichtes in der Wellenleitertechnik, insbesondere für Schichtwellenleiter von Bedeutung.

Dies gilt auch für den optischen Isolator 1 nach einem weiteren Ausführungsbeispiel, das in Fig. 13 gezeigt ist, der als Doppelpisma aus zwei Prismen 7 aufgebaut ist. Entlang der Grenzfläche beider Prismen (in den vorhergehenden Ausführungsbeispielen Seitenfläche 9) ist ein Transmissions-Gitter 4 angeordnet, während die beiden außen liegenden, zueinander geneigt laufenden Seitenflächen 8 der Doppelpriemenanordnung Spiegel 9 zur Reflexion des an dem innen liegenden Transmissions-Gitter fünfmal gebeugten Laserstrahles  $Se$ . Gegebenenfalls können die Spiegel 10 auch durch Reflexions-Gitter 6 ersetzt sein. Der einfallende Lichtstrahl  $Se$  trifft unter einem Winkel auf den spitzenseitigen, unverspiegelten Teil der Seitenfläche 8 des in Fig. 13 oberen Prismas 7 auf und wird zu dem Transmissions-Gitter 4 hin gebrochen, durch dieses in der vorerläuterten Weise hinsichtlich der Energiebilanz von dem einfallendem und rückreflektiertem Lichtstrahl zu der unteren Außenfläche 8 hin gebeugt und von dem dort vorgesehenen Spiegel 10 erneut in Richtung des Transmissions-Gitters 4 reflektiert. Nach mehrfacher Reflexion durch die Spiegel 10 und Beugung an dem innen liegenden Transmis-



sions-Gitter 4 tritt der mehrfach diffraktierte Laserstrahl Sa an der in Fig. 13 rechten Seite unter dem gleichen Winkel aus dem oberen Prisma 7 aus, unter dem der einfallende Laserstrahl Se das Prisma 7 erreichte.

Ein optischer Isolator 1 kann auch durch ein diffraktives Element gebildet werden, das zwei Dispersionsrichtungen aufweist. Vorzugsweise wird er durch periodische Phasenrelief-Gitter gebildet, die einen durch den jeweiligen Anwendungsfall vorteilhaft zu bestimmenden Winkel einschließen. Im einfachsten Fall kann dies ein Kreuzgitter 15 sein, wie dies schematisch in Fig. 14 dargestellt ist.

Das Kreuzgitter 15 kann als Kombination zweier einfacher Gitter 3, hier Reflexions-Gitter 6, aufgefaßt werden, die um  $90^\circ$  zueinander gedreht angeordnet sind. Für das Kreuzgitter 15 gilt in x- und y-Richtung die Gittergleichung (4) mit entsprechenden, unterschiedlichen Vorzeichen für Reflexion oder Transmission. Auch in diesem Fall werden die Linienzahlen des Kreuzgitters 15 in x- und y-Richtung so gewählt, daß der einfallende Laserstrahl Se (hier in Reflexion) in die 0. Beugungsordnung und die +1. Beugungsordnung zerlegt wird.

Der objektseitig rückreflektierte Laserstrahl Sr trifft senkrecht auf das Kreuzgitter 15 und erzeugt alle Kombinationen der Ordnungen  $k, l = 0, 1$ . Das heißt es erfolgt eine Zerlegung des rückreflektierten Strahles Sr in 9 Strahlteile, so daß in Richtung der Laserstrahlquelle höchstens  $1/9$  der rückreflektierten Intensität  $I_R$  als Störstrahl Ss gebeugt wird. Bei geeigneter Gestaltung der Beugungseffektivität in Abhängigkeit vom Einfallswinkel  $\alpha$  kann dieser Faktor noch weiter verringert und damit die optische Isolation verbessert werden.

Auch in diesem Fall sind die vorerläuterten Ausführungsbeispiele hinsichtlich der Gitteranordnungen (die für eindimensionale Gitter mit einer Dispersionsrichtung dargelegt wurden) anwendbar, wobei für das Kreuzgitter der Vorteil einer Reduzierung der Anzahl der Beugungen (Reflexionen und/oder Transmissionen) bei gleichzeitig wesentlich erhöhter optischer Isolation (größere Strahlzerlegung des rückreflektierten Laserstrahles) und damit wesentlich verminderte Intensität eines in Richtung der Einfallsrichtung auf die Laserquelle zurücklaufenden Störstrahles Ss besteht.

Es ist nicht erforderlich, daß an dem Kreuzgitter in x- und y-Richtung jeweils die gleiche Anzahl von Beugungen des einfallenden Laserstrahles auftritt. Vielmehr können diese jeweils verschieden sein unter Gewährleistung einer höheren Beugungseffektivität in Einfalls- als in Rückreflexionsrichtung.

Das Prinzip der optischen Isolation durch Diffraktion läßt sich insbesondere für die integrierte Optik nutzen, da die nicht-geführte Dimension des Lichtstrahles den Freiraumbedingungen entspricht.

So zeigt Fig. 15 schematisch ein Ausführungsbeispiel für einen optischen Isolator 1 in Verbindung mit einem Schichtwellenleiter 16 und damit die Anwendung des vorerläuterten Prinzips der optischen Isolation durch Diffraktion auf den Bereich geführten Laserlichtes, dessen nicht-geführte Dimension die Verwendung von diffraktiven optischen Elementen, insbesondere Gittern 3 zur optischen Isolation gestattet. Während Fig. 15a schematisch eine Draufsicht eines Schichtwellenleiters 16 zeigt, in den der Laserlichtstrahl Se von einer Laserdiode 12 eingestrahlt wird, zeigen die Fig. 15b und 15c jeweils schematisch in Draufsicht und perspektivischer Darstellung die jeweilige Gitterstruktur der Reflexions-Gitter 6. In dem Schichtwellenleiter 16 sind periodische Strukturen 17 so eingebracht, daß Gitterlinien als Reflexions-Gitter 6 senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der geführten Moden des Laserstrahles stehen und tiefer sind als der wellenleitende Bereich. Das von der Laserdiode 13 kommende Licht wird an diesen Reflexions-Gittern 6 gebeugt, so daß für die Einstrahlungsrichtung und die Rückreflexionsrichtung die vorerläuterten, unterschiedlichen Beugungseffektivitäten wirksam werden. In entsprechender Weise kann auch das in Fig. 12 dargestellte Prinzip diffraktiver optischer Isolation in Transmission, d. h. die Verwendung von Transmissions-Gittern als Gitterstruktur für Wellenleiter genutzt werden.

Hinsichtlich der vorerläuterten Ausführungsbeispiele wird auch darauf hingewiesen, daß es möglich ist, die Gitter 3 zur Mehrfachbeugung in geeigneter Anordnung zueinander sowohl an einem Prisma als auch z. B. auf in entsprechenden Neigungswinkeln angeordneten Glasplatten oder auch frei im Raum oder in einem transparenten Feststoffkörper (Fig. 11) anzuordnen.

Es wird überdies darauf hingewiesen, daß für die optische Isolation durch Einrichten einer Strahlteilung und unterschiedlichen Energiebilanz für die Einstrahlungs- und die Rückkopplungsrichtung möglich ist, bei der Verwendung polarisierten Lichtes für den Polarisationszustand DE (E-Vektor) in paralleler Richtung zu den Gitterfurchen bzw. -linien des Beugungsgitters und für den Polarisationszustand DM (E-Vektor senkrecht zu den Gitterfurchen bzw. Gitterlinien) die gleiche Beugungseffektivität des Gitters zu erreichen, so daß der optische Isolator unabhängig von der Polarisationsrichtung sowohl in paralleler als auch in orthogonaler Anordnung verwendet werden kann.

Die Anordnung der Reflexionsgitter 6 und/oder der Transmissionsgitter 4 ist einzeln oder in beliebiger Kombination miteinander und in Verbindung mit anderen optischen Bauelementen, insbesondere anderen diffraktiven oder refraktiven optischen Elementen und/oder mit Elementen der integrierten Optik möglich. Für Reflexions-Gitter 6 kann zur Erhöhung der Beugungseffektivität eine metallische Bedampfung und/oder eine Beschichtung zur Optimierung der Intensitätsverhältnisse (Transmissionsfaktoren)  $W_a$  und  $W_b$ , insbesondere bei Integration in einen Schichtwellenleiter (s. Fig. 15) erfolgen.

Die für den Freiraum (nicht-geführtes Licht) erläuterten Ausführungsbeispiele können in den bekannten Herstellungstechnologien für optische bzw. computererzeugte Hologramme (HOE bzw. CGH) ausgeführt werden. Damit ist auch die Anwendung entsprechender, dort benutzter Techniken der Vervielfältigung, wie Kopieren, Prägen, Spritzgießen etc. möglich.

Die Einbringung der entsprechenden Gitter-Reliefstrukturen in Schichtwellenleiter (siehe Ausführungsbeispiel Fig. 15) senkrecht zum Wellenleiter kann mit den bekannten Ätztechniken durch Masken oder durch Direktbelichtung in Fotolack erfolgen. Eine spezielle Möglichkeit der Ausführung ergibt sich durch die Modulierung des periodisch berandeten Wellenleiters in Fotolack und der dadurch möglichen Herstellung eines erzeugten Werkzeuges zur Prägung in geeignete Materialien wie Polymere, PMMA, Fotolack. Eine metallische Bedampfung kann der Erhöhung der Beugungseffektivität für Reflexion dienen.

Weitere Ausführungsbeispiele der Gestaltung von optischen Isolatoren durch insbesondere Mehrfachbeu-



gung des einfallenden Lichtstrahles an diffraktiven optischen Elementen und deren unterschiedliche Kombination sind in Abhängigkeit vom speziellen Anwendungsfall möglich. Eine besonders günstige Wirkung ergibt sich, wenn unter Abstimmung der Gitterkonstanten in Abhängigkeit von der verwendeten Lichtwellenlänge und unter der Wahl des Einfallswinkels des Lichtstrahles auf das erste Gitter höhere Beugungsordnungen unterdrückt werden und für den rückreflektierten Strahl eine größere Strahlaufteilung als für den einfallenden Strahl erfolgt. Bei Gewährleistung unterschiedlicher Beugungseffektivität für den Laserstrahl in Nutzstrahlrichtung und Rückstrahlrichtung durch jeweils in beiden Richtungen unterschiedliche Einfallswinkel kann gegebenenfalls auch auf die Unterdrückung höherer Beugungsordnungen verzichtet werden. Vorteilhaft können auch beide Effekte (Unterdrückung höherer Beugungsordnungen für den einfallenden Laserstrahl, unterschiedliche Einfallswinkel für den einfallenden und rückreflektierten Laserstrahl der verwendeten Beugungsordnung) zur Vergrößerung der Isolationswirkung miteinander kombiniert werden.

Der Anmeldungsgegenstand ist also nicht auf die Unterdrückung höherer Beugungsordnungen (als die 0. und +1. Beugungsordnung) beschränkt. Vielmehr können auch höhere Beugungsordnungen für den einfallenden Laserstrahl (und sogar gleiche Beugungsordnungen zwischen einfallendem und rückreflektiertem Laserstrahl) zugelassen werden, solange in Einfallrichtung eine höhere Beugungseffektivität (und Strahlungsenergie) als in Rückreflexionsrichtung durch höhere Zerlegung des rückreflektierten Strahles und/oder unterschiedliche Einfallswinkel für den einfallenden und rückreflektierten Strahl durch Abstimmung von Gitterkonstanten, Lichtwellenlänge, Einfallswinkel und gegebenenfalls Modulationstiefe gewährleistet bleiben.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Isolation einer Laserstrahlquelle gegen Rückreflexionen eines von der Laserstrahlquelle emittierten Laserstrahles, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) durch Diffraktion einer Strahl- und Energierteilung unterworfen wird und im Anschluß an die Diffraktion das Energieniveau eines in Richtung der Laserstrahlquelle rückreflektierten Störstrahles (Ss) geringer ist als das Energieniveau des Laserstrahles (Se, Sa).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) auf zumindest ein diffraktives optisches Element (3, 4, 6) geführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive optische Element (3, 4, 6) für den von der Laserstrahlquelle kommenden, einfallenden Laserstrahl (Se) eine höhere Beugungsaktivität als für den in sich reflektierten, auf das diffraktive optische Element (3, 4, 6) zurücklaufenden Strahl (Sr) aufweist.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit von der Wellenlänge ( $\lambda$ ) und dem Einfallswinkel ( $\alpha$ ) des von der Laserstrahlquelle kommenden, einfallenden Laserstrahles (Se) sowie einer charakteristischen Konstanten (g) des diffraktiven optischen Elementes (3, 4, 6) der einfallende Laserstrahl (Se) nur in die 0. Beugungsordnung ( $\beta_e$ ) und +1. Beugungsordnung unter Ausbildung eines Beugungswinkels zerlegt wird, durch den nach einer Reflexion der in sich selbst auf das diffraktive optische Element (3, 4, 6) zurücklaufende Strahl (Sr) der +1. Beugungsordnung in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung zerlegt wird.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch unterschiedlichen Einfalls- und Rückreflexions-Einfallswinkel ( $\alpha_e, \alpha_r$ ) für den einfallenden und rückreflektierten Laserstrahl (Se, Sa) unterschiedliche Beugungseffektivitäten vorgesehen sind und die Beugungseffektivität in Richtung des rückreflektierten Strahles (Sr) durch Wahl eines möglichst kleinen Rückreflexions-Einfallswinkels ( $\alpha_o$ ) möglichst gering ist.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das diffraktive optische Element für polarisiertes Licht unabhängig von einer Einstrahlung parallel oder senkrecht zu seiner diffraktiven Struktur die gleiche Beugungseffektivität aufweist.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) abfolgend einer mehrfachen Diffraktion unterzogen wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) einer Diffraktion an einem Gitter (3, 4, 6) unterworfen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) einer mehrfachen Diffraktion in einem Prisma (7) zwischen einem ebenen Reflexionsgitter (6) und einem Spiegel (10) unterworfen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (Se) abfolgend auf zumindest zwei diffraktive optische Elemente geführt wird, die unter einem Winkel ( $\omega$ ) zueinander angeordnet sind, derart, daß für jede Beugung an demselben diffraktiven optischen Element der ursprüngliche Einfalls- oder Beugungswinkel reproduziert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl zwischen zumindest zwei unter einem Winkel zueinander angeordneten Gittern (3, 4, 6) gebeugt wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl in Verbindung mit der Diffraktion einer Strahlformung unterzogen wird.

13. Optischer Isolator zum Schutz einer Laserstrahlquelle gegen Rückreflexionen eines von der Laserstrahlquelle emittierten Laserstrahles, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch zumindest eine diffraktive Gitteranordnung, die in Abhängigkeit von einer Wellenlänge ( $\lambda$ ) und einem Einfallswinkel des Laserstrahles (Se) sowie einer Gitterkonstanten (g) eine höhere Beugungseffektivität für den emittierten Laserstrahl (Se, Sa) als für einen in sich reflektierten, auf das Gitter zurücklaufenden Strahl (Sr) aufweist.



14. Optischer Isolator nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3) ein Reflexions-Gitter (6) ist.
15. Optischer Isolator nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter ein Transmissions-Gitter (4) ist.
16. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3) ein lineares oder ein in mehreren Richtungen wirksames, ebenes Gitter (4, 6, 15) ist.
17. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3) ein Oberflächenrelief ist.
18. Optischer Isolator nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3) ein tiefmoduliertes Phasengitter ist.
19. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 18, gekennzeichnet durch eine Diffraktion des einfallenden Laserstrahles (Se) nur in eine 0. Beugungsordnung und eine +1. Beugungsordnung, unter Ausbildung eines Beugungswinkels, durch den nach einer objektseitigen Reflexion der in sich selbst auf das Gitter zurücklaufende Strahl der +1. Beugungsordnung in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung zerlegbar ist.
20. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 19, gekennzeichnet durch zumindest zwei optische Elemente, von denen zumindest eines ein diffraktives Gitter (4, 6) ist, wobei die Elemente in Ebenen angeordnet sind, die unter einem Winkel ( $\omega$ ) zueinander verlaufen, derart, daß für jede Beugung an einem in der gleichen Ebene angeordneten optischen Element der ursprüngliche Einfallswinkel oder Beugungswinkel ( $\alpha_e, \beta_e$ ) reproduzierbar ist.
21. Optischer Isolator nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch ein Prisma (7), dessen unter einem spitzen Winkel ( $\omega$ ) zueinander verlaufende Seitenflächen (8, 9) zumindest ein ebenes Reflexions-Gitter (6) sowie einen Spiegel (10) aufweisen.
22. Optischer Isolator nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch ein Prisma (7), dessen unter einem spitzen Winkel ( $\omega$ ) zueinander verlaufende Seitenflächen (8, 9) zumindest jeweils ein ebenes Reflexions-Gitter (6) aufweisen.
23. Optischer Isolator nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Seite des Prismas (7) zusätzlich einen Spiegel (10) aufweist.
24. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, gekennzeichnet durch ein Prisma (7) mit einem Transmissions-Gitter (4) und einem Reflexions-Gitter (6) auf einer Strahleintrittsseite, einem Reflexions-Gitter (6) auf einer weiteren Seite (9) und einem Transmissions-Gitter (4) auf einer Strahlaustrittsseite des Prismas (7).
25. Optischer Isolator nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eines der Transmissions-Gitter (4) ein abbildendes Gitter ist.
26. Optischer Isolator nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Transmissions-Gitter (4) ein holografisch-optisches Element ist.
27. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit von einem Verhältnis Wellenlänge ( $\lambda$ ) zu Gitterkonstante ( $g$ ) und einer Modulationstiefe ( $h$ ) zur Gitterkonstante ( $g$ ) bei gegebener Profilform des Oberflächenreliefs des Gitters dieses für polarisiertes Licht senkrecht und parallel zum Gitter eine gleiche Beugungseffektivität aufweist.
28. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3) auf einer Fläche eines Prismas (7) oder eines Parallelepipeds (14) angeordnet oder in einen lichtleitenden Festkörper integriert ist.
29. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter flächig im Raum angeordnet ist.
30. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, gekennzeichnet durch eine Mehrzahl von ebenen Transmissions-Gittern (14) in Strahlrichtung abfolgend unter den gleichen Neigungswinkeln zueinander geneigt angeordnet sind.
31. Optischer Isolator nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel  $45^\circ$  beträgt.
32. Optischer Isolator nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß alternierend vier winkeltgleiche Prismen (7) und vier Transmissions-Gitter (4) abfolgend unter paarweiser Zusammenordnung der Prismen (7) entlang ihrer längsten Seiten angeordnet sind und der Einfallswinkel des Laserstrahles (Se), der gleich einem Basiswinkel der Prismen ist, an jedem Transmissions-Gitter (4) gleich groß reproduziert ist.
33. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, gekennzeichnet durch ein unter Zwischenlage eines Transmissions-Gitters (4) zwischen zwei Prismen (7) gebildetes Doppel-Prisma, dessen gegenüberliegende, zueinander geneigt verlaufende Außenseiten (8) jeweils Spiegel (10) oder Reflexions-Gitter (6) aufweisen.
34. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitter (3, 15) eine Mehrzahl von Beugungsrichtungen aufweist.
35. Optischer Isolator nach Anspruch 34, gekennzeichnet durch ein Kreuzgitter (15) durch das in Abhängigkeit von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel des von der Laserstrahlquelle kommenden, einfallenden Laserstrahles sowie den Gitterkonstanten des Kreuzgitters in X- und Y-Richtung der Laserstrahl nur in die 0. und +1. Beugungsordnung und Ausbildung eines Beugungswinkels zerlegt wird, durch den nach einer objektseitigen Reflexion der in sich selbst senkrecht auf das Kreuzgitter zurücklaufende Strahl der +1. Beugungsordnung in X- und Y-Richtung in die 0. Beugungsordnung, die +1. Beugungsordnung und die -1. Beugungsordnung zerlegbar ist.
36. Optischer Isolator nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche 13 bis 35, dadurch gekennzeichnet,



zeichnet, daß das Gitter in vertikaler Anordnung in Verbindung mit einem Schichtwellenleiter angeordnet und eine Gitterstruktur senkrecht zur Ausbreitungsrichtung von in dem Schichtwellenleiter (16) geführten Moden vorgesehen ist.

5

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

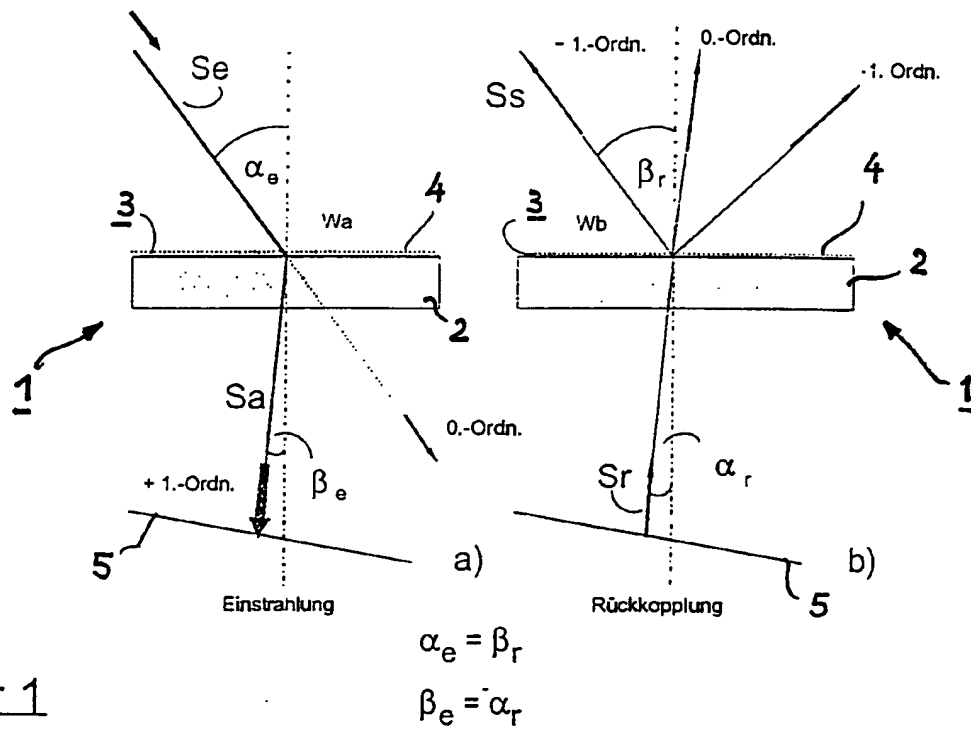
50

55

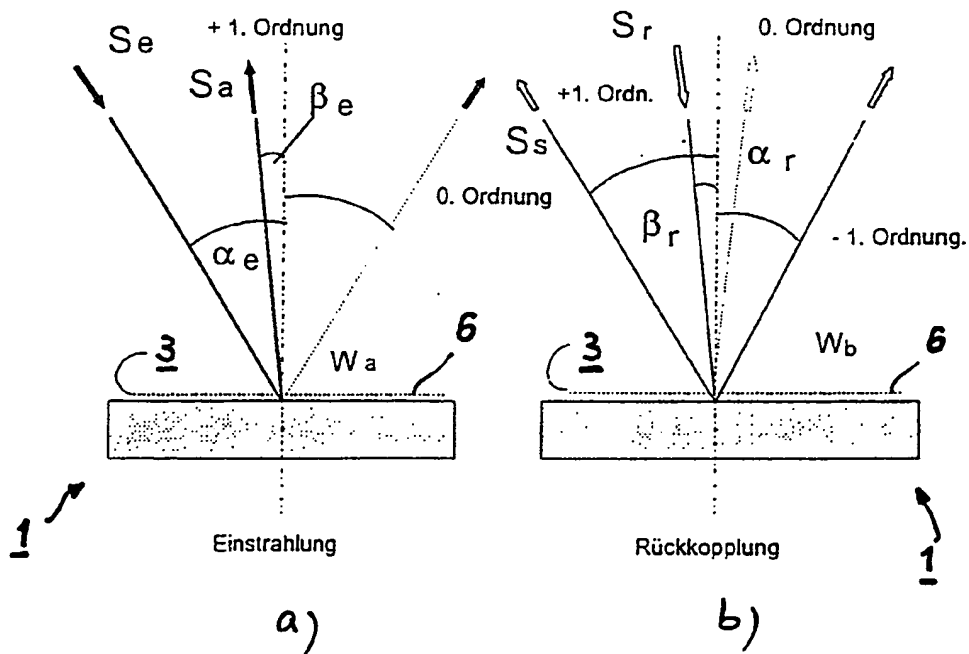
60

65

- Leerseite -

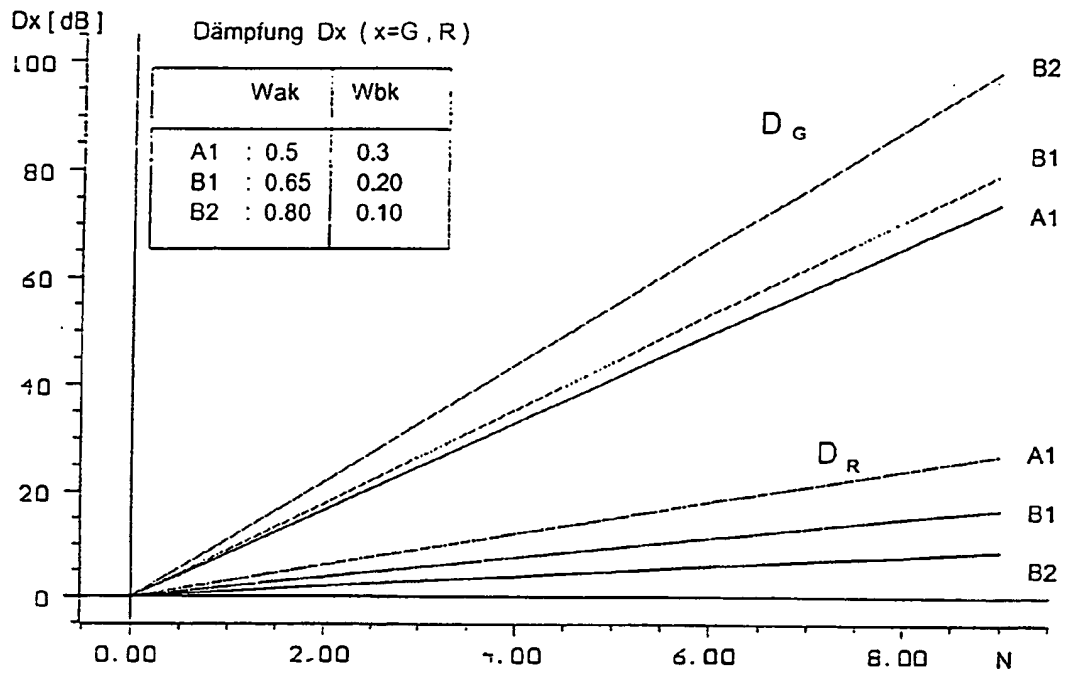


Figur 1

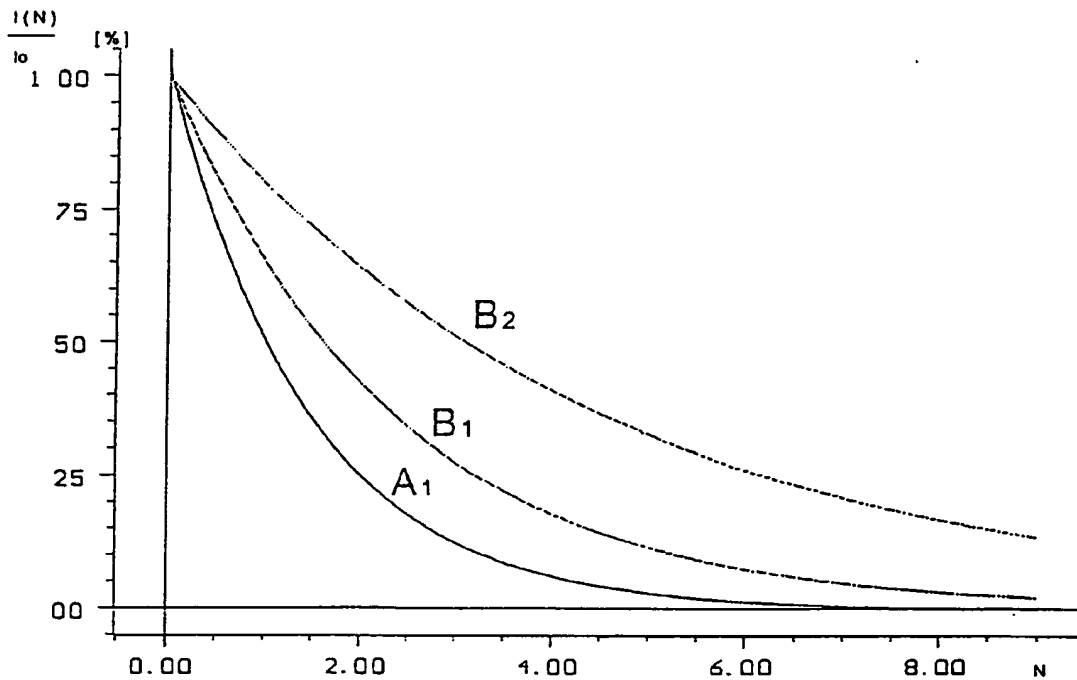


Figur 2



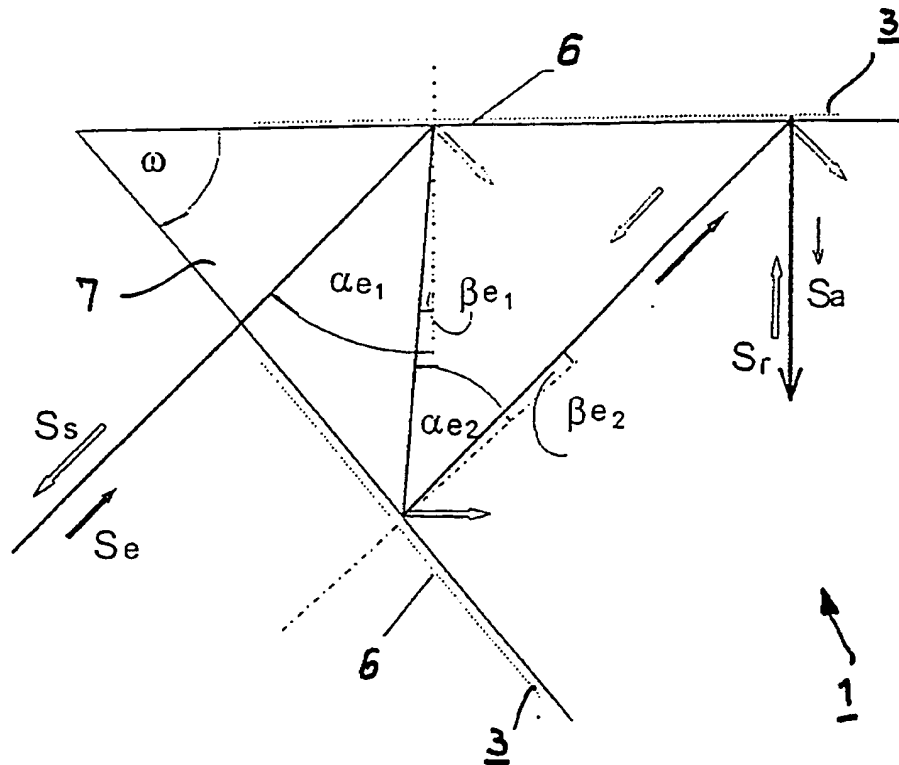


Figur 3



Figur 4

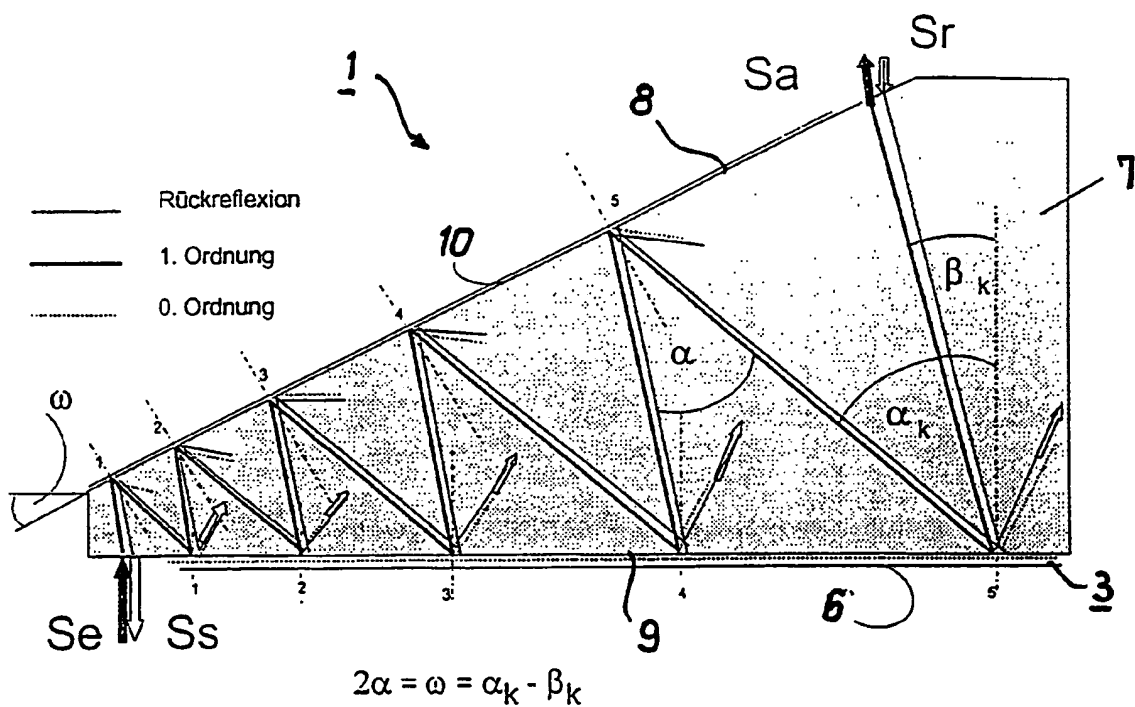




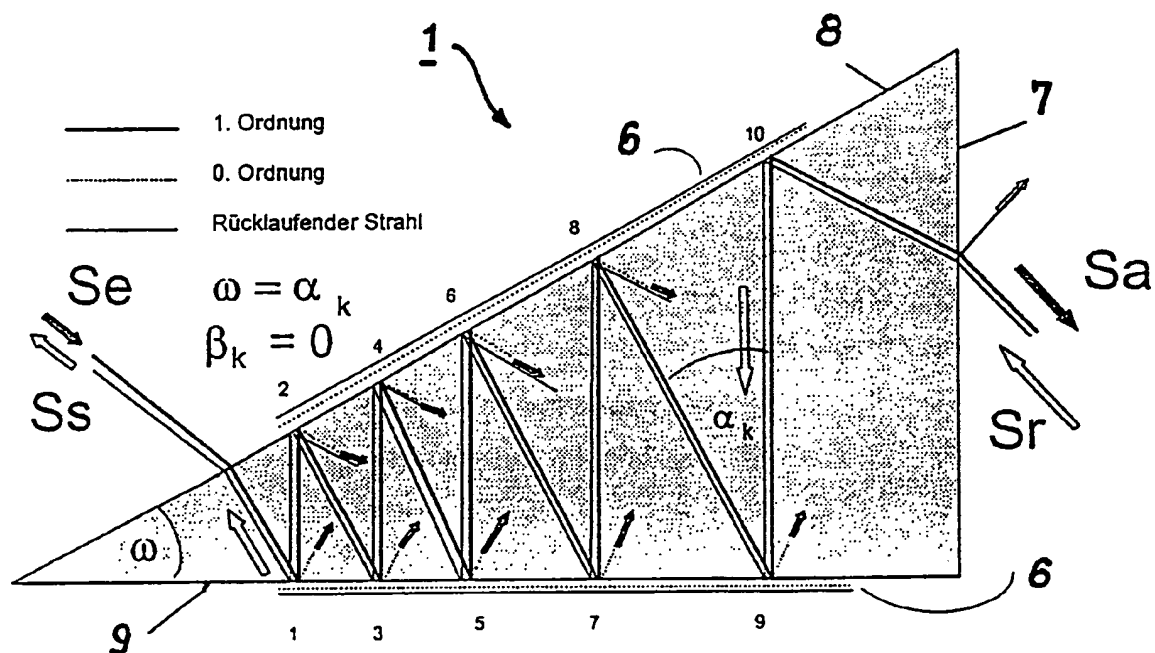
$$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = \beta_{r1} = \beta_{r2}$$

$$\beta_{e1e} = \beta_{e2} = \alpha_{r1} = \alpha_{r2}$$

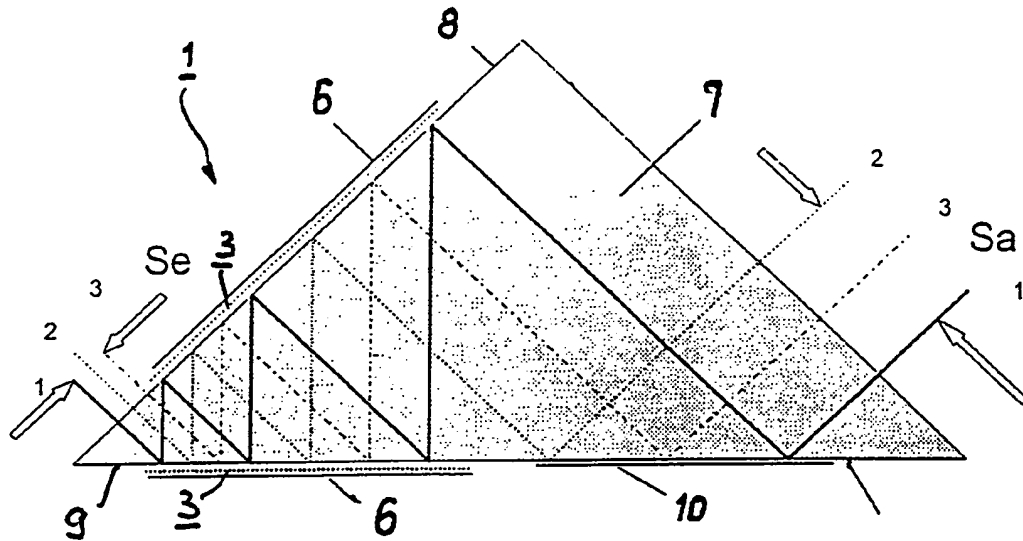
Figur 5



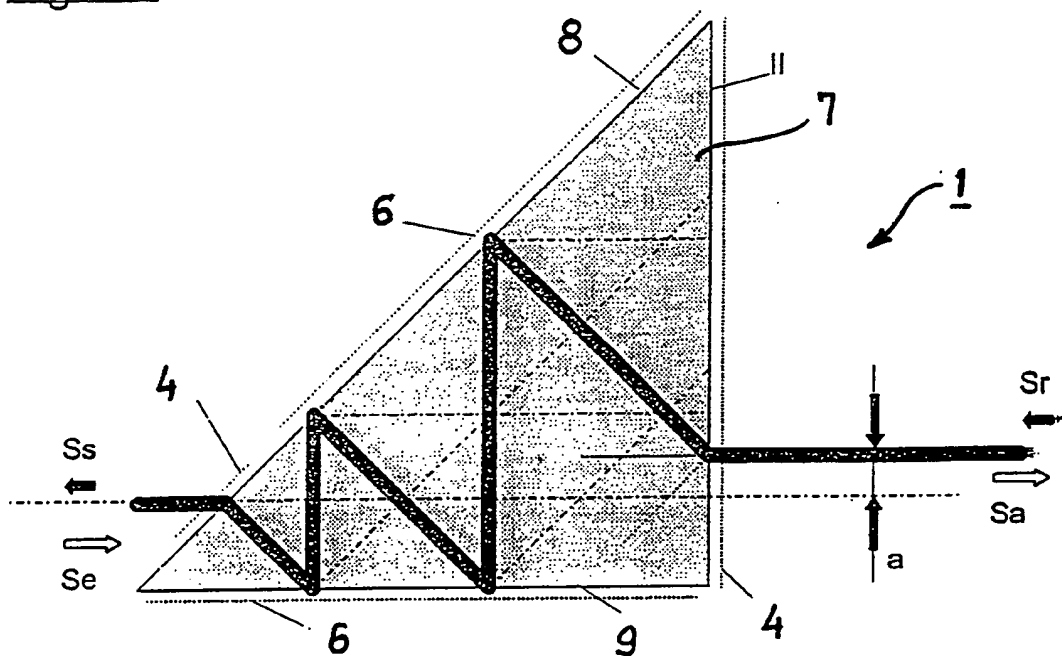
Figur 6



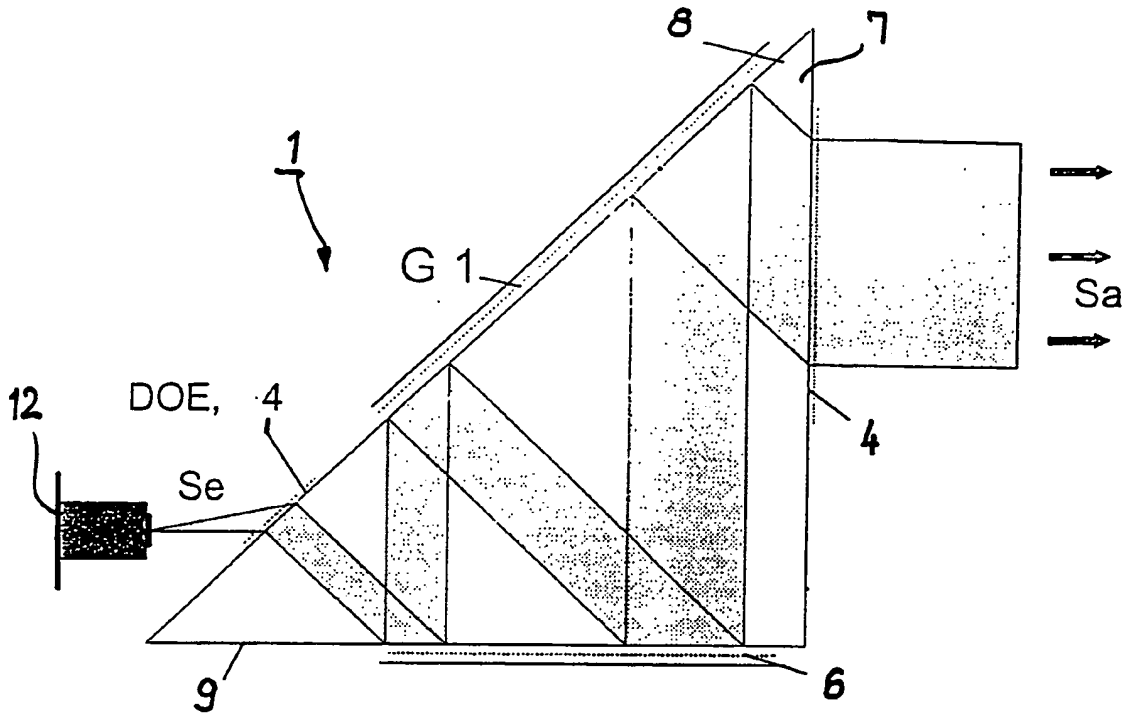
Figur 7



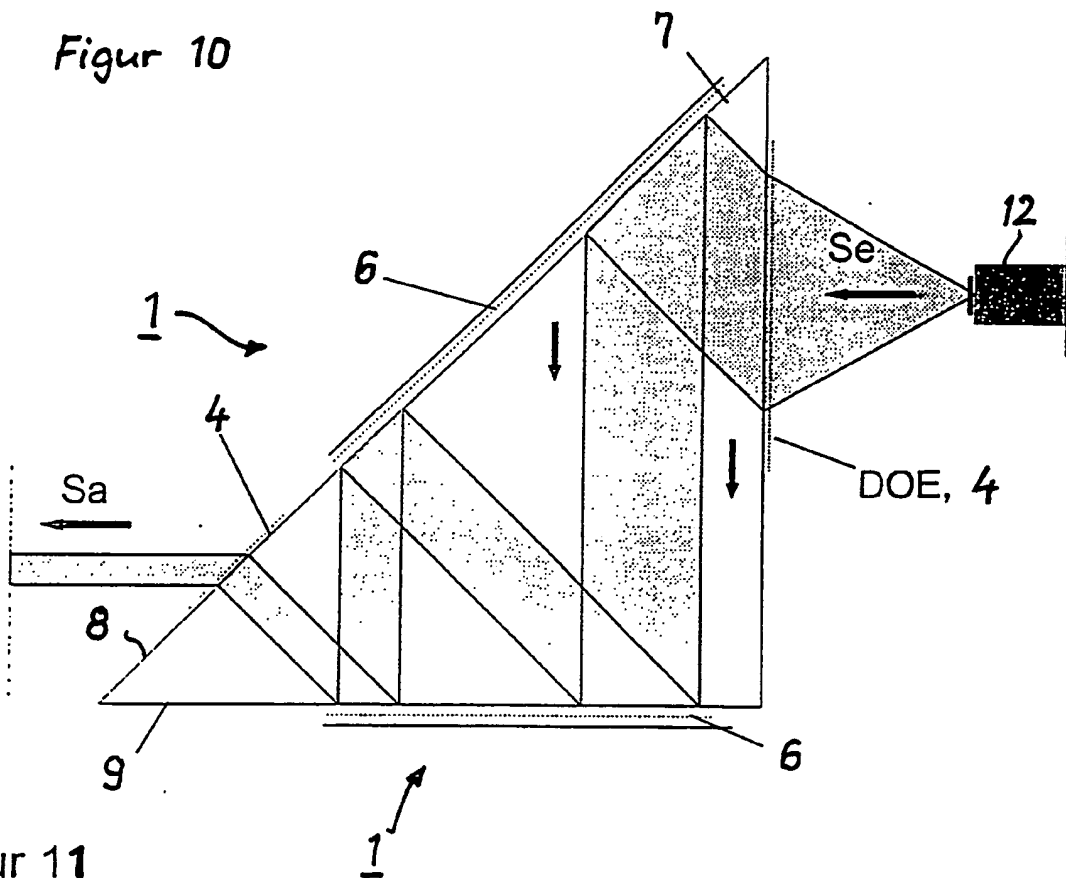
Figur 8



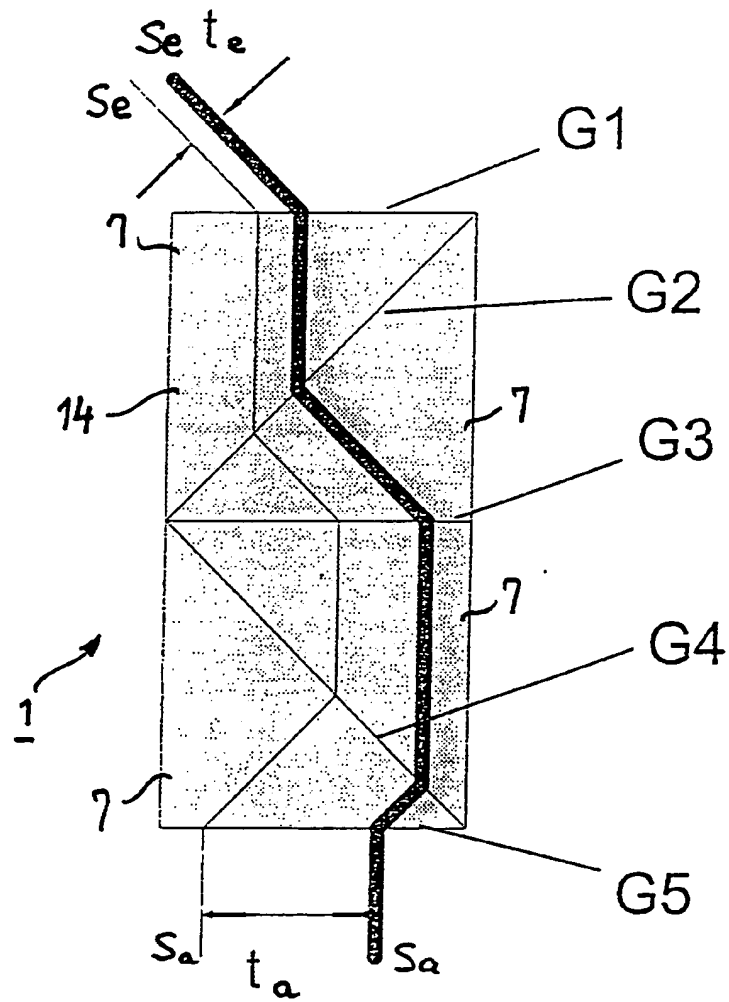
Figur 9



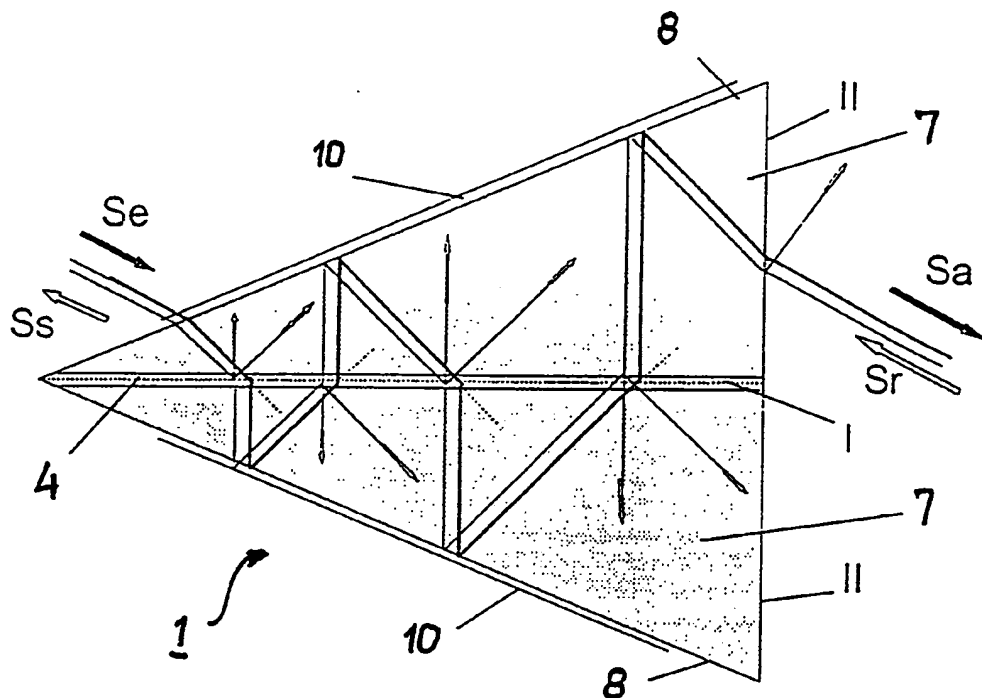
Figur 10



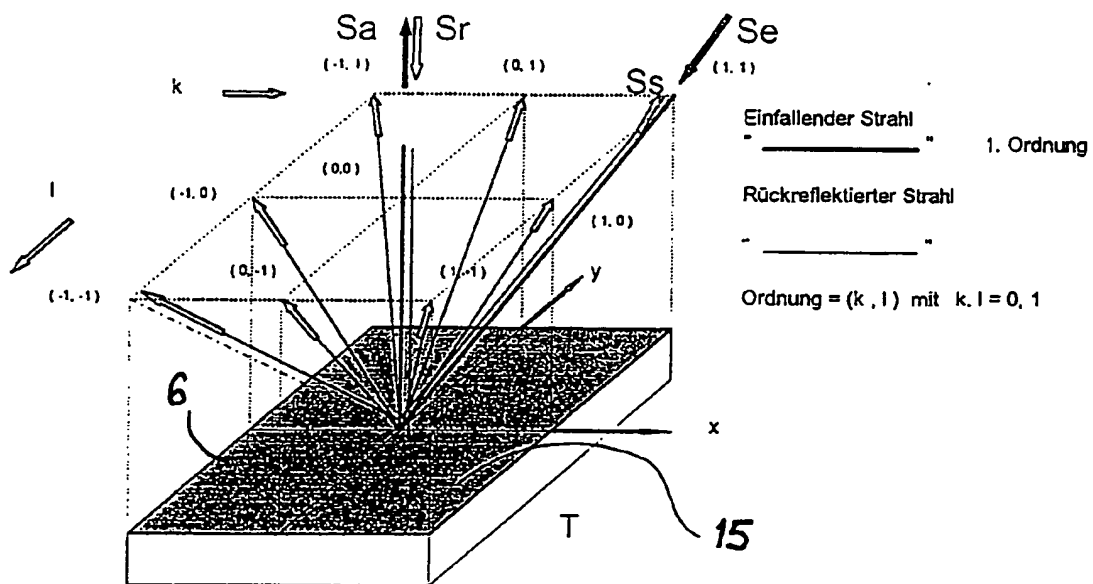
Figur 11



Figur 12



Figur 13



Figur 14

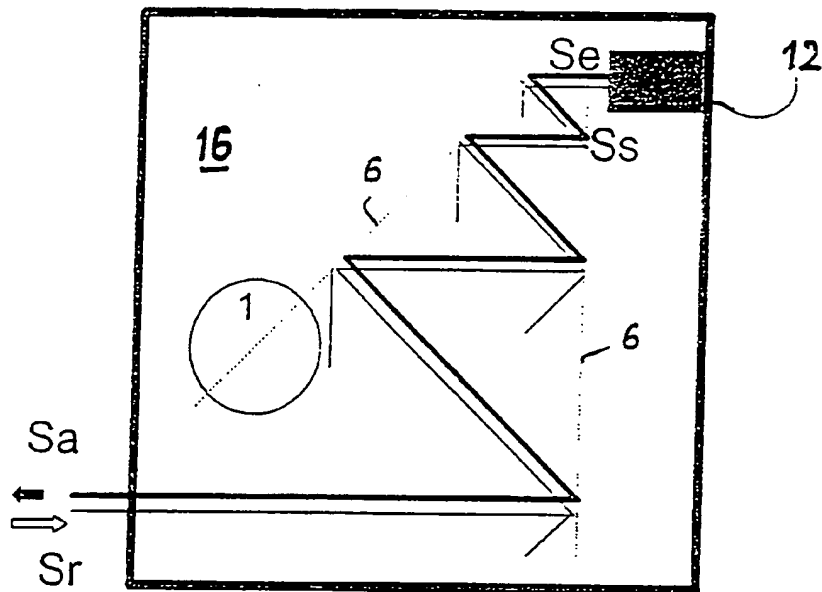


Fig. 15 a

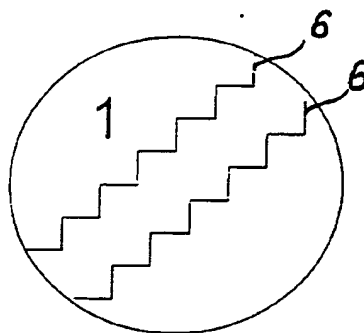


Fig. 15 b

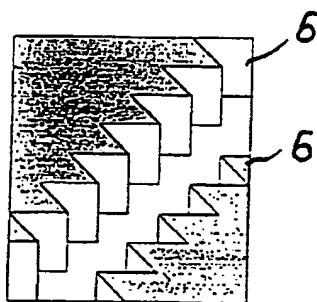


Fig. 15 c



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**